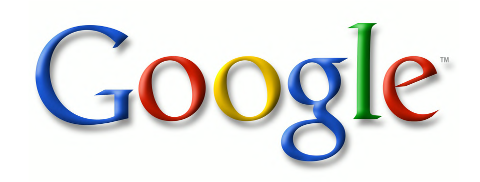

Google




Eng 1017.87

$10.00

Rare

Henry Harding

NOUVEAUX PRINCIPES D'HYDRAULIQUE,

APPLIQUÉS

A TOUS LES OBJETS D'UTILITÉ,

ET PARTICULIÈREMENT

AUX RIVIERES;

Précédés d'un Discours historique et critique sur les principaux ouvrages qui ont été publiés sur le même sujet.

PAR M. BERNARD,

Directeur-adjoint de l'Observatoire royal de la Marine de Marseille, de l'Académie des Sciences de la même ville, et de celle de Lyon.



DE L'IMPRIMERIE DE DIDOT L'AÎNÉ.

A PARIS,

Chez DIDOT FILS AÎNÉ = JOMBERT JEUNE, rue Dauphine.

M. DCC. LXXXVII.

A MONSEIGNEUR

LE MARÉCHAL

DE CASTRIES,

Premier Baron des États de Languedoc, Chevalier des Ordres du Roi, Gouverneur des ville et citadelle de Montpellier, ville et port de Cette, Capitaine-Lieutenant des Gendarmes Écossois, Commandant général et Inspecteur du Corps de la Gendarmerie, Ministre et Secrétaire d'État ayant le département de la Marine et des Colonies.

MONSEIGNEUR,

Il y a peu de Sciences plus belles et plus utiles que l'Hydrodynamique. Le jugement des savants

m'apprendra bientôt si j'ai fait des observations propres à la perfectionner: puisse leur approbation honorer mes efforts et justifier la bonté que vous avez eue en me permettant que cet Ouvrage parût sous vos auspices!

Je suis, avec un profond respect,

MONSEIGNEUR,

Votre très humble et très obéissant serviteur,

BERNARD.

DISCOURS HISTORIQUE
ET CRITIQUE

Sur les principaux ouvrages relatifs à l'hydrodynamique en général, et en particulier à la théorie des fleuves.

L'HYDRODYNAMIQUE n'est pas une de ces sciences qui ne sont propres qu'à servir d'aliment à la curiosité. L'eau est un agent essentiel du monde; l'industrie de l'homme en retire des secours infinis; et soit que ce fluide soit réduit au repos ou qu'il soit en mouvement, la connoissance des loix auxquelles il est soumis est un des objets les plus importants de la philosophie naturelle.

Les Italiens, à qui on doit les principes de la plupart des sciences, se glorifient d'avoir complètement perfectionné celle-ci. Comme ils ont eu tous les exemples que l'observation pouvoit fournir, et toutes les facilités pour faire des expériences; comme d'ailleurs le génie préside souvent à leurs recherches, on a cru trop aisément qu'ils avoient fait le meilleur usage possible de ces avantages. Leur supériorité a été tellement reconnue, que, sur les points les plus importants, on s'est borné par-tout à les copier. Il est étonnant que leur gloire n'ait pas été élevée sur des fondements durables. Il ne se présentoit jamais de

projet considérable qui ne donnât lieu à des disputes vives. La lumiere auroit dû naître du choc des opinions: mais ceux qui avoient souvent l'esprit assez bon pour sentir la vérité, n'avoient pas assez de talent pour la montrer dans sa pureté; ils succomboient, sans conserver le mérite d'avoir combattu pour elle, sous le poids de l'autorité et de la réputation.

En travaillant sur la théorie des eaux, je n'ai pas prétendu résoudre toutes les difficultés que ce sujet présente : mon but a été principalement d'écarter toutes celles qui y avoient été introduites, et de rendre bien saillantes celles qui existent réellement. Si mon ouvrage n'a pas le mérite d'étendre autant que je l'aurois desiré les limites d'une science aussi importante, j'espere qu'il servira du moins à mieux diriger les efforts des savants, à encourager ceux qui se livrent aux observations, et à les convaincre par mon exemple qu'on peut, avec les talents les plus ordinaires, contribuer aux progrès de la philosophie naturelle, et marquer les écarts des hommes de génie.

Les anciens connoissoient les loix de l'hydrostatique; ils contenoient les fleuves dans leur lit; ils élevoient des ponts sur les parties les plus rapides de leur cours; ils faisoient serpenter ceux dont le courant n'avoit pas assez de lenteur pour favoriser la navigation; ils creusoient des canaux pour les unir; ils en dérivoient des eaux abondantes pour fertiliser les campagnes et pour embellir les villes; en un mot, si on excepte quelques inventions particulieres, telles que les

écluses, etc. etc. on ne peut leur disputer la gloire d'avoir exécuté avec succès les ouvrages les plus considérables et les plus difficiles qui aient été entrepris par les hommes relativement au mouvement des eaux. Il est pourtant certain qu'ils n'avoient sur chaque objet que des connoissances de pratique, et que leur théorie étoit très bornée. Elle prit naissance lorsque Galilée découvrit les loix de la chûte des graves. Ce grand homme en fit l'application au mouvement des eaux dans le lit des fleuves. Ce fluide ayant une mobilité singuliere, il crut pouvoir le considérer d'une maniere abstraite, et comme opposant très peu d'obstacles à l'exactitude des résultats que les principes mathématiques promettoient.

On proposoit d'abréger le cours du fleuve Bisentio, et de détruire les sinuosités de son lit pour rendre ses inondations moins fréquentes et ses ravages moins considérables. Galilée s'opposa à ce projet, et il soutint, 1°. que, dans deux canaux de même pente, la vîtesse de l'eau étoit la même, quelle que fût l'inégalité de la longueur des canaux; 2°. que ce n'est pas la pente du fond du lit qui regle le mouvement des eaux, mais bien celle de la surface; 3°. que l'accélération du cours des eaux au temps des crues n'est pas produite par l'augmentation de la pente, et qu'elle doit être attribuée à l'abondance et à la pression des eaux affluentes; 4°. que les sinuosités des fleuves, lorsqu'elles ne forment pas des angles aigus ou droits, n'occasionnent qu'un retardement insensible, ou même nul,

au mouvement des eaux; 5°. que l'eau, en regonflant, ne perd pas sa vîtesse, puisque l'élévation où elle parvient rend sa pente inférieure plus considérable; 6°. que la ligne de la plus courte descente n'est pas la ligne droite; 7°. que l'eau, en passant d'un canal dans un autre moins incliné, ne perd rien de la vîtesse acquise.

Je crois devoir m'arrêter un instant pour montrer la maniere dont Galilée introduit dans la théorie du mouvement des eaux une cause imaginaire. Cet auteur, après avoir déterminé les loix des vîtesses lorsque les corps suivent des plans inclinés de différentes longueurs, mais de hauteur égale, examine la vîtesse que ces corps acquierent lorsqu'ils parcourent des plans inclinés de même longueur et de hauteurs inégales, et il fait ensuite l'application de ses principes au fleuve d'Arno. Il dit qu'au temps des crues l'Arno s'éleve à Florence de huit à dix brasses, et que la distance de Florence à l'embouchure est de 60 milles. Il observe que, lorsque les eaux sont basses, il leur faut 50 heures pour faire ce trajet. Il calcule ensuite quelle seroit l'augmentation de la vîtesse, en ayant égard à la plus grande inclinaison de la surface de l'eau au temps des crues, et il trouve qu'il faudroit encore 48 heures aux eaux pour se rendre à la mer: mais il dit que, d'après l'observation, les eaux, au temps des crues, mettent moins de 8 heures pour se rendre à la mer. Il faut donc, selon Galilée, attribuer cet excès de vîtesse à une autre cause qu'à l'augmenta-

tion de la pente, et il ne balance pas à indiquer, pour produire cet effet, la pression que les eaux inférieures éprouvent de la part des supérieures dont la masse s'est considérablement accrue, et qui les poussent avec la plus grande impétuosité.

Un ingénieur nommé Bartolotti, qui avoit écrit sur la nécessité de diriger en ligne droite le Bisentio, ne sut pas indiquer ce qu'il y avoit de faux dans la théorie de Galilée, et les modifications que mettoient aux loix du mouvement les obstacles que rencontroient les eaux, leurs diverses directions, et le frottement qu'elles éprouvoient. D'ailleurs cette rectification avoit été faite déja, et le fleuve avoit repris de lui-même son ancien cours tortueux. Les causes finales étoient alors en vogue. Cette direction irréguliere paroissoit indiquer qu'elle étoit la plus conforme aux vues de la nature. Une théorie qui n'étoit pas contestée, et qui paroissoit dans tous ses points également lumineuse, assuroit qu'il n'y avoit aucun avantage, pour la vîtesse des eaux, à abréger le Bisentio. Il fut résolu de ne faire aucune innovation, et Galilée eut alors le malheur de faire triompher son opinion au préjudice de la vérité.

Au reste, l'ignorance des ingénieurs qui étoient alors chargés de la direction des eaux étoit si grande, qu'ils n'avoient aucun égard à la vîtesse de ce fluide pour déterminer la quantité qu'il s'en écouloit par le lit des fleuves. On regarda comme une découverte la proposition de Castelli qui enseignoit que, dans une

riviere dont le cours étoit établi, la vîtesse des eaux étoit réciproquement comme la grandeur des sections des eaux vives. Cet auteur enseigna quelques autres propositions qui sont devenues triviales. Cela ne doit pas diminuer notre reconnoissance. La vérité est toujours simple; mais comme il n'y a qu'un chemin qui y conduit, il faut toujours du talent, en se frayant des routes nouvelles, pour ne pas s'égarer. D'ailleurs Castelli se méprit sur la mesure de la vîtesse des eaux qui coulent par de petits orifices : il la rendoit trop considérable en la faisant proportionnelle à la hauteur des réservoirs. Il reconnut l'avantage qui naissoit de la destruction des obstacles pour faciliter l'écoulement des eaux; mais il se trompa en parlant de l'effet des écluses, en attribuant la vîtesse des eaux près de l'embouchure des fleuves à la pression des eaux supérieures, et en déterminant l'élévation qui devoit avoir lieu à une certaine distance de l'embouchure lorsque le niveau des eaux s'élevoit d'une petite quantité à cette embouchure. Il écrivit encore beaucoup sur les moyens de rendre l'air plus salubre au voisinage de Venise, et d'empêcher la mer de s'éloigner de cette ville. Les vapeurs pernicieuses qui s'élevoient dans l'air étoient produites par les inondations des fleuves qui avoient leur embouchure au voisinage, et les changements de mer en terre par les dépôts que ces mêmes fleuves formoient. Castelli, supposant que ces dépôts étoient occasionnés par la force des courants, regardoit les eaux des fleuves comme le moyen le

plus efficace pour suspendre les mauvais effets de ces courants. Il conseilla non seulement de ne pas éloigner davantage de Venise les fleuves qui couloient encore à son voisinage, mais il vouloit qu'on rapprochât et qu'on remît dans leur ancien lit ceux qu'on en avoit écartés. Heureusement il y eut en Italie d'autres savants qu'on pût consulter. Montanari et Guglielmini eurent une opinion différente qui fut suivie. Toutes les rivieres furent éloignées de la ville; l'air y devint plus pur, et la mer cessa de s'en éloigner.

Torricelli découvrit la loi des vîtesses de l'eau lorsqu'elle sort d'un réservoir par de petits orifices; mais ce fut en employant le tâtonnement de l'expérience, et il n'en donna pas la démonstration. Galilée avoit pourtant donné les regles de la chûte des graves avec toutes les modifications que la pesanteur pouvoit éprouver. Ces regles, combinées avec un principe d'hydrostatique connu alors, étoient suffisantes pour déterminer la vîtesse de l'eau dès que le rapport de l'orifice au fond du vase étoit donné. La loi de Torricelli n'étoit rigoureusement exacte, ainsi qu'on le verra dans la suite, que dans un cas particulier, et qui ne pouvoit même jamais avoir lieu. On la trouva moins juste à proportion qu'on en fit des applications à de plus grandes ouvertures; mais on ne laissa pas de l'employer toujours.

Le respect de Viviani pour Galilée ne l'empêcha pas de rejeter les idées de son maître sur l'effet des sinuosités des rivieres. Il approuva les redressements

du lit du Bisentio. Il donna quelques vues utiles sur le mouvement des eaux dans les rivieres; mais il se méprit au sujet de leur action sur le gravier (1).

Le mouvement des eaux dans les fleuves, malgré les méditations de plusieurs grands hommes, restoit toujours enveloppé d'obscurités. Aucun d'eux ne fit de découverte sans tomber dans quelque erreur considérable. Dans ce temps, l'esprit philosophique naissoit à peine. En sortant des ténebres du péripatétisme, on prenoit les premiers essais de la raison pour les

(1) Voici comment il s'exprime dans le discours adressé au grand duc Côme III sur l'exhaussement du lit des rivieres, et les dégradations qu'éprouvent leurs bords: « Si, dans les lieux où on « établit des digues, il ne se trouve pas dans le lit du fleuve une « seule pierre qui soit de même poids que celles dont on construit « les digues, comme les eaux au temps des crues n'ont pas eu la « force de transporter jusques-là les gros graviers qu'elles cha- « rioient dans les parties supérieures et plus voisines de leur ori- « gine, on peut compter sur la stabilité de ces digues, parceque « les eaux ne sauroient mettre en mouvement et transporter plus « loin des pierres plus considérables que celles qui sont dans le lit « du fleuve » . . . . . Et ailleurs : « Comme les pierres qu'on jette « dans le lit des fleuves pour défendre leurs bords, loin d'être « rondes, ont ordinairement une forme approchante de la cu- « bique, et comme elles sont d'un poids fort supérieur à celui des « cailloux que la plus grande force du courant a transportés jus- « ques-là, on peut regarder les ouvrages construits avec les grosses « pierres non seulement comme suffisants pour résister à la rapi- « dité de l'eau, mais encore comme assez puissants pour la dom- « ter, la vaincre et l'éloigner. »

plus grands efforts dont elle fût capable. Aussi tous les ouvrages de physique qui prirent naissance alors, si on en excepte le petit nombre de ceux qui ne renfermoient que des observations, n'ont pas soutenu les regards du siecle qui a suivi, malgré la réputation dont ils jouirent. Ce fut dans ces circonstances désavantageuses que Guglielmini fit son grand ouvrage sur la nature des rivieres. On l'admira lorsqu'il parut (1); on adopta généralement les principes qui y étoient répandus. L'enthousiasme avec lequel il fut accueilli s'est perpétué jusqu'à nos jours; nos écrivains (2) les

(1) Ce livre original en cette matiere eut un grand éclat. *Fontenelle*, dans l'éloge de Guglielmini, *Histoire de l'Académie des Sciences, année* 1710.

(2) M. d'Alembert, article *Fleuve* dans le dictionnaire encyclopédique. M. l'abbé Bossut, *page* XI *de son Hydrodynamique*, regarde le traité de la nature des fleuves comme *excellent* quant à la partie physique et pratique. Voici ce qu'en dit M. de Montucla dans son Histoire des Mathématiques, tom. II, pag. 476: « M. Dominique Guglielmini s'est rendu célebre par des travaux d'un « autre genre. L'extrême importance dont est, en Italie, la conduite des eaux et la direction des fleuves, lui fit tourner ses vues « de ce côté, et ses réflexions sur ce sujet ont donné naissance à « deux ouvrages justement réputés pour fondamentaux dans ces « matieres. L'un est son traité *de Aquarum fluentium Mensura*, « où il traite savamment tout ce qui a rapport à l'écoulement des « eaux. L'habileté dont il fit preuve dans cet ouvrage lui valut, « outre l'honneur d'être chargé de plusieurs commissions importantes, une distinction flatteuse de la part de sa patrie. Bologne « créa en sa faveur une nouvelle chaire, qu'on appella d'Hydro-

plus distingués en ont parlé avec les plus grands éloges; et ceux qui y ont découvert quelques erreurs n'ont pas laissé de reconnoître que l'auteur étoit encore le maître par excellence sur cette matiere.

Il n'est pas étonnant que Guglielmini ait conservé si long-temps la réputation qu'il a obtenue. Né avec un esprit vaste, il ne lui manqua que les vrais principes des matieres qu'il traita; il en imagina à l'exemple de ses contemporains, et il subit comme eux l'influence de son siecle. Il étoit réservé à Newton de nous enseigner la vraie maniere d'étudier la nature.

Guglielmini connut tous les phénomenes que les fleuves présentent. Mais on peut appliquer à son grand ouvrage ce que M. de Fontenelle a dit dans son éloge à l'occasion d'un de ses autres écrits: « Il ne suf« fit pas de tenir une vérité; il faut aussi, quand on « veut la suivre un peu loin, en tenir la véritable « cause: autrement la fausse cause d'une vérité re« vient à enfanter des erreurs, ses productions natu« relles. »

La préface de l'ouvrage de Guglielmini roule sur la nécessité de porter dans la physique la certitude de la géométrie, et sur la difficulté souvent insurmon-

« métrie. Ce fut pour lui un nouvel engagement de continuer ses « recherches dans ce genre, et il publia en 1697 la premiere partie « de son célebre livre *della natura de Fiumi*, dont la seconde pa« rut en 1712, après sa mort. Cet ouvrage, plus original que le « premier, est rempli d'une multitude de vues nouvelles non moins

table de faire entrer des idées simples de la géométrie dans la physique aussi compliquée qu'elle est.

Il est question, dans le chapitre I, de la nature des fluides, de leur action réciproque et de leur vîtesse. L'auteur suppose que leurs éléments sont des spheres. Il dit que lorsqu'ils s'échappent d'un vase entretenu toujours plein, leur vîtesse est egale à celle qu'auroit acquise un mobile en tombant de la hauteur du vase, et cela sans avoir aucun égard au rapport qu'il peut y avoir entre la surface de l'orifice et celle du fond du vase.

Dans le chapitre II, Guglielmini parle de l'origine des fontaines. Il reconnoît que l'eau qui coule dans le lit des fleuves vient ou des fontaines, ou des pluies, ou de la fonte des neiges : mais il croit, d'après Descartes, que les fontaines sont entretenues par l'eau de la mer qui s'éleve en vapeurs à travers les rochers et les terres dont sont formées les montagnes.

Le chapitre III ne renferme que des définitions.

Le chapitre IV traite du mouvement des eaux courantes et des regles principales de ce mouvement. C'est là que Guglielmini expose les principes physiques dont il fera usage. Il parle du mouvement des

---

« ingénieuses qu'utiles ; il est digne enfin d'être médité par tous « ceux qui, soit par goût ou par l'obligation de leurs places, cul- « tivent cette partie de l'hydraulique. Nous tâcherons de justifier « cet éloge, dans la partie suivante de cette histoire, par un précis « de ces vues intéressantes. »

corps le long des plans inclinés; il développe la théorie de Galilée; il observe que l'eau, étant composée de petites parties solides, doit être assujettie aux mêmes loix que les solides, et qu'elle a même sur eux un avantage qui lui vient de la mobilité de ses parties: en effet, elle paroît sentir avec délicatesse la plus légere pente, et obéir alors aux loix de la pesanteur. Il résume à la fin tout ce qu'il a dit, de la maniere suivante.

1°. « La vîtesse des eaux des fleuves est produite par « deux causes: l'une est la pente du lit, et l'autre la « hauteur vive du corps de l'eau; ou, pour mieux dire, « l'une est l'accélération du mouvement de l'eau oc- « casionnée par la pente du lit, et l'autre est la vîtesse « due à la hauteur vive de la section. »

Nous ferons voir que la hauteur vive de l'eau dans un fleuve dont le cours est établi ne contribue que d'une maniere insensible à son mouvement, et que cette cause introduite ou adoptée par Guglielmini est entièrement imaginaire.

2°. « Ces deux causes n'agissent pas à la fois, mais « seulement à raison de l'excès de l'une sur l'autre: de « maniere que si l'accélération de la pente produit un « plus grand effet que la hauteur vive de la section, « c'est à celle-là qu'on doit attribuer la vîtesse. »

Si la cause introduite par Guglielmini étoit réelle, elle agiroit toujours, et la vîtesse produite par la pente seroit augmentée nécessairement par celle que pourroit produire la hauteur vive de l'eau, parceque,

quelle que soit la vîtesse des fleuves, les eaux, lorsqu'elles coulent librement et qu'elles ne rencontrent pas des obstacles, se soutiennent sensiblement de niveau, et la pression y a toujours lieu comme si elles étoient en repos.

3°. « L'effet de ces deux causes peut avoir lieu en « même temps dans la même section, mais non pas « sur la même portion d'eau, de façon qu'une partie « peut tenir sa vîtesse de la pente du lit, et l'autre de « la hauteur vive de l'eau. »

On ne peut pas dire que, dans la même section, des particules d'eau doivent leur mouvement à la pente sans obéir en même temps à la pression, puisque cette pression ne peut cesser d'avoir lieu.

4°. « Dans les fleuves qui ont peu de pente, la vîtesse « naît principalement de la hauteur vive de l'eau; et « dans ceux dont le lit est fort incliné, la vîtesse est « produite principalement par l'accélération, et dans « quelques circonstances la hauteur vive de l'eau n'y « contribue en rien. »

Il est faux que, dans les fleuves qui ont peu de pente, la vîtesse doive être principalement attribuée à la hauteur vive de l'eau : il suivroit de là que, dans les parties de leur lit où la pente est insensible, la vîtesse devroit être la même lorsque la hauteur vive est égale.

Guglielmini déduit de son principe imaginaire le moyen de distinguer dans une riviere si le mouvement est produit par la hauteur des eaux vives ou par la

vîtesse acquise. « On peut reconnoître, dit-il, si l'eau « d'une riviere à-peu-près horizontale coule par la vî-« tesse acquise dans la chûte, ou par la pression de la « hauteur. Il ne faut qu'opposer à son cours un ob-« stacle perpendiculaire : si l'eau s'éleve subitement « contre cet obstacle, elle couloit en vertu de sa chûte; « si elle s'éleve quelque temps après, c'étoit par la « pression ». Mais cette regle n'est point bonne, il suffit que l'eau ait quelque vîtesse pour qu'elle s'éleve; cela est entièrement indépendant de la cause qui produit cette vîtesse.

Guglielmini déduit aussi de son principe imaginaire un moyen de connoître la quantité d'eau que fournit un fleuve à son embouchure, où, selon lui, la vîtesse ne peut être due qu'à la hauteur vive de l'eau.

« Quand on a une expérience fondamentale sur la « vîtesse de l'eau, et lorsqu'on sait, par exemple, « qu'une eau tombée de la hauteur d'un pied de Bo-« logne (1) parcourt en une minute 216 pieds 5 pouces « d'un mouvement égal, on a sa vîtesse pour toutes « les chûtes possibles. Guglielmini en a calculé une « table qu'il n'a portée que jusqu'à 30 pieds de chûte, « parceque les plus grands fleuves de l'Europe ne

(1) Guglielmini, n'ayant pas eu égard à la contraction de la veine lorsque l'eau s'échappoit par un petit orifice formé au fond d'un vase entretenu toujours plein, et appliquant cette théorie aux cas où l'eau s'échappoit dans les sections verticales du lit des rivieres, trouve, dans l'exemple que je cite, une moindre vîtesse que

« passent pas cette profondeur. Si l'on veut mesurer « la quantité d'eau qui passe en une minute par un « canal horizontal, comme on sait que sa vîtesse « moyenne est aux $\frac{4}{9}$ de sa hauteur, il faut avoir les $\frac{4}{9}$ « en pieds et pouces; on trouve ensuite par la table « quelle vîtesse convient à une chûte ou pression « de cette hauteur : c'est là la vîtesse moyenne de « l'eau; et en la multipliant par la hauteur et largeur « du canal, on a la quantité d'eau cherchée. »

Guglielmini trouve par cette méthode que le Danube, supposé horizontal à son embouchure, comme le sont presque toujours les grands fleuves, du moins sensiblement, jette dans le Pont-Euxin en une minute près de 42 millions de pieds cubiques bolonois d'eau.

Cette théorie conduit à des résultats qu'il est impossible d'adopter. Si on supposoit en effet qu'à l'embouchure des fleuves, la vîtesse acquise fût anéantie, et que leur surface fût horizontale, les eaux ne pourroient pas entrer du tout dans la mer. Il y a de fort petites rivieres qui ont beaucoup de profondeur à leur embouchure, et il y en a de très puissantes qui en ont fort peu dans le même endroit. En se servant de la

---

si, en suivant ses principes, l'expérience primordiale sur laquelle il construisit la table qu'il a placée à la fin de sa Mesure des eaux courantes eût été plus exacte. On trouve dans l'Architecture hydraulique de M. Belidor une table entièrement conforme aux principes de cet auteur.

méthode de Guglielmini, on trouveroit que les premieres donneroient considérablement plus d'eau à la mer qu'elles n'en reçoivent, et que les autres en donneroient moins.

5°. « La vîtesse de l'eau à la superficie est toujours « produite par la pente ; et dans les canaux horizon- « taux, elle est produite par la viscosité qui existe « entre les parties de l'eau. »

Cette regle est fausse, parcequ'elle est une suite du principe imaginaire.

6°. « Pour mesurer les eaux courantes, il faut faire « en sorte que toute la vîtesse de la section dépende « de la seule hauteur au moyen du régulateur. »

Nous ferons voir que cet instrument peut conduire à des erreurs monstrueuses.

7°. « On peut conclure de la regle précédente que « les fleuves qui n'ont pas une pente sensible auront « d'autant plus de vîtesse à égale largeur, que leur vo- « lume d'eau sera plus considérable, ou autrement « que leur hauteur vive sera plus grande. »

Comme il est démontré que la hauteur vive de l'eau, lorsque le lit est continu, n'influe en aucune maniere sur sa vîtesse, on peut dire seulement qu'une plus grande masse d'eau conserve mieux sa vîtesse. Mais d'ailleurs il est très ordinaire que de deux rivieres qui coulent sur un lit horizontal, celle qui a des eaux vives moins hautes coule plus rapidement que l'autre. Je dois remarquer encore qu'indépendamment que cette regle est contraire à tous les phénomenes, elle

est

est diamétralement opposée à cette autre regle très vraie, que les vîtesses moyennes dans les divers points d'un fleuve dont le cours est établi sont réciproquement comme la grandeur des sections.

8°. « Les fleuves qui portent une égale quantité « d'eau auront d'autant plus de vîtesse, que leurs bords « seront plus resserrés. »

Cette regle est fausse dans le sens que Guglielmini y attache, attendu que la hauteur des sections ne contribue que dans des circonstances particulieres à augmenter la vîtesse de l'eau.

Guglielmini, après s'être mépris dans le chapitre IV sur les causes de la vîtesse des eaux dans le lit des fleuves, expose, dans le chapitre V, des principes très inexacts sur la maniere dont cette vîtesse contribue à corroder le fond. Voici comment il s'exprime : « En « admettant pour certain ce qui a été développé dans « le chapitre précédent, il faut à présent entrer dans « de plus grands détails, et considérer dans les fleuves « les changements qui peuvent arriver à leur largeur, « à leur profondeur et à leur pente. Il est reconnu « généralement qu'il faut que le lit des fleuves ait « une pente quelconque pour que les eaux puissent « couler : mais les auteurs ne s'accordent pas sur la « détermination de cette pente. Il n'est pas nécessaire que le lit d'un fleuve près de son embouchure « ait quelque pente ; il suffit qu'il entre à une certaine distance de l'embouchure des eaux nouvelles de maniere que le niveau y soit plus élevé,

« Le courant sera d'autant plus rapide et la différence « de niveau d'autant plus grande, que les eaux af-« fluentes seront plus abondantes.... En nivelant les « fleuves on leur trouve des pentes différentes... mais « en général, dans des situations semblables, leur « pente est d'autant plus petite, que les fleuves sont « sujets à des crues plus abondantes. En mesurant la « pente d'un fleuve dans différents points de son cours, « on y trouve de très grandes différences; elle est ra-« pide dans les montagnes, beaucoup moindre dans « les plaines, et nulle à l'embouchure: d'où il suit « évidemment que la pente n'est pas tant la cause « que l'effet de la vîtesse des fleuves. »

Il est bon de remarquer une contradiction frappante dans laquelle tombe Guglielmini. Il attribue, en parlant d'un fleuve qui coule près de son embouchure, le mouvement des eaux à la différence de niveau, et il affirme généralement qu'à proportion que le volume d'eau qui doit s'écouler par un canal horizontal est considérable, plus la pente de la surface ou la différence de niveau doit être considérable. Il ne compte pour rien l'action de la hauteur vive des eaux.

Ce qui prouve d'une maniere bien évidente que la vîtesse des eaux n'est pas produite près de l'embouchure des fleuves par la hauteur vive de l'eau, c'est que ceux qui sont plus considérables ont une pente moindre. Nos petites rivieres ont une pente assez sensible près de leur embouchure. Le Rhône en a très

peu, puisqu'à Arles ses eaux sont élevées de 4 à 5 pieds seulement sur le niveau de la mer. La riviere des Amazones en a considérablement moins, puisque le flux et le reflux s'y font sentir jusqu'à 200 lieues de distance de l'embouchure.

« Le Reno, dit Guglielmini, est incliné seulement « de 52 secondes vers le bas de son cours. Si la vîtesse « acquise par la chûte se perd entièrement, ce qui « peut arriver à force d'obstacles redoublés, et après « que le cours sera devenu tout-à-fait horizontal, il « n'y a plus que la hauteur, ou la pression toujours « proportionnelle à la hauteur, qui puisse rendre de la « vîtesse à l'eau et la faire couler. Heureusement cette « ressource croît selon le besoin : à mesure que l'eau « perd de sa vîtesse acquise par la chûte, elle s'éleve « et augmente en hauteur. »

Guglielmini, après avoir reconnu que l'eau avoit une mobilité extrême, ne laisse pas de dire que sa vîtesse étoit extrêmement diminuée par le frottement, et même par la viscosité ou l'adhérence de ses parties. Il ne détermine pas les effets de ces causes; il les néglige quelquefois, et dans d'autres circonstances il les suppose très considérables. Les phénomenes le déterminent. « La viscosité naturelle, dit-il, « des parties de l'eau, et une espece d'engrénement « qu'elles ont les unes avec les autres, fait que les « inférieures mues par la hauteur entraînent les su-« périeures, qui, dans un canal horizontal, n'au-« roient eu d'elles-mêmes aucun mouvement, ou,

« dans un canal peu incliné, en auroient eu peu:
« ainsi les inférieures, dans ce cas, rendent aux eaux
« supérieures une partie du mouvement qu'elles en
« ont reçu. De là vient aussi qu'assez souvent la plus
« grande vîtesse d'une riviere est vers le milieu de sa
« hauteur; car les parties du milieu ont l'avantage,
« et d'être pressées par la moitié de la hauteur de
« l'eau, et d'être libres du frottement du fond. »

Voici comment Guglielmini développe ses principes sur la maniere dont l'eau corrode le fond et les bords du lit du fleuve: « Quelle que soit la cause qui
« produit la vîtesse des eaux, il est certain que, lors-
« qu'elles en sont animées, elles peuvent détacher du
« terrain sur lequel elles coulent les molécules de
« terre comme le feroit une lime: ainsi, à proportion
« que leur vîtesse sera plus grande, elles corroderont
« davantage le fond et les bords; ainsi tant que l'eau
« ne trouvera pas une résistance suffisante, elle con-
« tinuera toujours d'élargir et d'augmenter la profon-
« deur du lit. Mais à mesure qu'un fleuve creuse plus
« profondément son lit, il diminue de pente, et perd
« par-là une partie de sa vîtesse; d'ailleurs, à mesure
« que le terrain devient plus horizontal, il se dérobe
« davantage à la corrosion: ainsi on voit que l'exca-
« vation doit avoir un terme; et ce terme a lieu lors-
« qu'il y a équilibre entre la résistance du fond et la
« force du courant.

« Les bords sont corrodés de la même maniere que
« le fond; mais la cause qui agit sur eux est plus per-

« manente, et l'équilibre entre la force de l'eau et leur « résistance s'établit plus difficilement que dans le « fond du lit.

« Il y a trois causes qui concourent à l'établisse- « ment du lit : la premiere est la nature du fond ; ainsi « les fonds sablonneux résisteront moins que les fonds « crayeux : la seconde, la situation du fond et des « bords ; car plus un fond aura de pente, soit qu'il soit « sablonneux ou graveleux, plus il sera susceptible « d'être corrodé à égale force de la part de l'eau : la « troisieme, qui mérite principalement le nom de « cause, est la force de l'eau, qui n'est autre chose que « sa vîtesse, soit qu'elle soit produite par la pente du « lit ou par la hauteur vive de l'eau.

« Pour bien juger de l'effet de l'eau, il faut suppo- « ser que son action est appliquée à des plans diffé- « remment inclinés. Supposons qu'on en forme plu- « sieurs autour du point B, *figure* 1, et supposons « qu'ils soient d'une matiere également résistante : il « est simple qu'à proportion que le plan sera plus in- « cliné, il faudra une force moindre pour détacher « et entraîner les matieres qui y seront placées ; et « lorsque le plan sera horizontal, la force de l'eau « n'étant point aidée de l'inclinaison du plan, il faut « qu'elle soit alors suffisante pour détruire l'adhé- « rence des matieres qui y sont fixées, et pour les « transporter, autrement le fond ne sauroit éprouver « aucune corrosion. Il est donc évident que la force « de l'eau, ou, ce qui est la même chose, sa vîtesse,

« n'étant pas suffisante pour rendre le fond horizon-
« tal, il faudra qu'elle le laisse incliné. D'où il suit que
« la violence du cours de l'eau n'est pas toujours l'effet
« de la pente du lit comme on l'avoit cru jusqu'à pré-
« sent; mais la pente du lit est bien toujours l'effet de
« la violence du cours de l'eau. »

Je ferai voir dans mon ouvrage que les eaux ne charient pas du gravier à proportion qu'elles sont rapides, et même qu'elles cessent ordinairement d'en charier lorsqu'elles sont parvenues à leur plus grande vîtesse. Il résulte de là que l'équilibre entre la force du courant et la résistance du fond est un effet imaginaire. Une autre grande erreur de Guglielmini est d'avoir cru que l'eau agissoit de la même maniere dans toute l'étendue du lit des fleuves, pourvu que sa vîtesse fût la même.

Voici quelques conséquences que cet auteur déduit des principes qu'il s'est formés auparavant: *Dans les fleuves, plus la force de l'eau sera grande, et moins leur lit aura de pente. Si la vîtesse de l'eau d'un fleuve est suffisante sans le secours d'aucune pente pour corroder le fond et pour en entraîner les parties, alors le lit n'aura ou ne conservera aucune pente.*

Ces deux propositions sont fausses. En effet, deux rivieres de vîtesse inégale peuvent avoir la même pente. Il y a des rivieres qui ont une vîtesse suffisante pour charier continuellement des cailloux, et dont la pente est très considérable. Enfin, dans le lit de la même riviere, la pente est d'autant moindre, que la

vîtesse des eaux est moins grande : ce qui est entièrement opposé à la théorie de Guglielmini.

Le même auteur, après avoir considéré la maniere dont les eaux s'établissent un lit, expose les changements qui y arrivent par les depôts qui s'y forment ; il dit que, si les eaux d'un fleuve étoient toujours claires, elles pourroient bien approfondir le lit, mais non pas le remplir. En effet, il pensoit que les fleuves dont la profondeur étoit considérable pouvoient toujours corroder le fond ; et cette opinion étoit d'autant plus extraordinaire, qu'à mesure que la hauteur vive des eaux augmentoit, leur vîtesse ou leur puissance augmentoit aussi.

Guglielmini termine cet article par ces idées remarquables : « La force de l'eau étant considérable, « et la grosseur et la dureté des cailloux étant déter- « minées, il suit qu'après avoir été ballottés quelque « temps dans les eaux, ils doivent se réduire entière- « ment en sable. On ne doit donc pas regarder comme « une chose bien merveilleuse si le transport des cail- « loux a des limites, et si le lit des fleuves ne s'en rem- « plit pas entièrement, puisqu'il y a une espece de « compensation entre la quantité qui y entre et celle « qui s'y détruit. On explique de cette maniere pour- « quoi certains fleuves portent des cailloux jusqu'à « la mer ; cela arrive lorsque leur cours n'est pas assez « étendu pour donner aux cailloux le temps de se ré- « duire en sable. »

Guglielmini s'occupe des diverses directions du lit

des fleuves dans le chapitre VI. Il dit avec raison que les sinuosités qu'ils présentent sont produites par des circonstances ou des causes locales; il parle de la nécessité où les hommes se sont trouvés de contenir les fleuves et de les empêcher de corroder leurs bords, et il continue en ces termes: « Les ravages occasion« nés par les fleuves ont excité le génie d'un grand « nombre d'écrivains; il n'y a aucune partie de l'ar« chitecture hydraulique qui ait été traitée avec plus « d'étendue: mais il faut avouer qu'on n'en a pas re« tiré de grands avantages, soit que les causes qui occa« sionnent les corrosions et les changements du cours « soient trop multipliées, soit qu'il soit trop difficile « d'en déterminer l'énergie et de leur opposer des ob« stacles suffisants, soit qu'enfin on se méprenne trop « aisément dans la recherche de la véritable cause de « l'effet qu'on veut prévenir. En effet, le plus souvent « on travaille en vain à opposer des obstacles au cours « d'un fleuve; il arrive même que le remede est pire « que le mal, et qu'un ouvrage destiné à soutenir les « bords d'un fleuve en a entraîné la ruine, tandis que « sans ces travaux il auroit résisté pendant plus de « temps. Je ne prétends pas condamner pourtant l'u« sage de fortifier les bords des fleuves, et encore « moins de donner des regles pour faire ces ouvrages « avec succès. Je sais combien cette matiere est diffi« cile et délicate pour qui est dans le cas de la prati« quer; je n'ignore pas que l'expérience apprend beau« coup, et principalement l'expérience d'un fleuve auquel

« auquel on travaille : la connoissance qu'on en a re-
« lativement à ses propriétés individuelles est absolu-
« ment nécessaire pour réussir. »

On peut d'autant mieux croire que Guglielmini n'avoit pas des idées nettes sur la maniere dont les eaux agissent, qu'il en fait l'aveu lui-même. Je ne le suivrai pas avec rigueur. Il y a peu de propositions qui ne dépendent des principes qu'il a établis.

Il dit, à la suite de la proposition III, que, si on suppose qu'au temps des plus grandes crues la résistance des bords se soit mise en équilibre avec la force des eaux, ils pourront résister à des crues égales et à d'autres moins considérables. Or cela peut être très faux; car nous montrerons qu'une petite crue peut occasionner de plus grands ravages qu'une crue plus considérable.

Voici sa IVe proposition. Si la section d'un fleuve est déterminée tant en largeur qu'en profondeur, et si sa figure est celle d'un parallélogramme rectangle, elle n'éprouvera aucune altération tant que les eaux seront claires; mais si elles se troublent et si elles charrient du gravier, les bords seront essentiellement corrodés, et le fond de la section sera creusé vers son milieu. Pour prouver la seconde partie de cette proposition, il dit que l'eau la plus voisine des bords perdra, par le frottement, de sa vîtesse : elle n'aura donc pas la même force que l'eau située au milieu du lit; donc là elle formera des dépôts, tandis qu'ici elle creusera. Il fait ensuite un aussi mauvais raison-

nement pour prouver que les bords seront corrodés.

Je passe tout de suite au corollaire Ier de la proposition VIII pour faire voir une contradiction frappante avec ce qui a été avancé dans la proposition IV. « Il suit, dit Guglielmini, de la proposition précé« dente, que, dans les fleuves tortueux, lorsqu'un des « bords a été corrodé et a pris la courbure qu'exigent « la cause et les circonstances qui l'ont produite, la « corrosion n'augmente plus, et les bords ne sont pas « plus dégradés par les eaux que s'ils étoient paral« leles entre eux et à la direction du lit des fleuves. »

Puisque Guglielmini trouve que les bords sont nécessairement corrodés lorsqu'ils sont paralleles au courant au temps des crues, il devoit conclure à plus forte raison qu'ils devoient être toujours plus corrodés lorsqu'ils étoient plus exposés à l'action des eaux, et lorsqu'ils formoient des coudes. Ce n'est que dans les rivieres dont le cours est paisible que les sinuosités ne nuisent pas à la stabilité du lit; mais dans celles qui sont rapides, les bords les plus exposés à l'action de l'eau sont constamment corrodés.

Guglielmini, avant d'exposer les effets dépendants de l'unité de direction et de la sinuosité du lit des rivieres, avertit que « celles qui coulent sur le gravier « conservent très difficilement l'unité de direction, « parcequ'en chariant du gravier lentement, elles le « laissent souvent au milieu de leur cours à mesure « que la crue cesse, et ce gravier forme des atterrisse« ments qui font que les eaux courantes se dirigent

« quelquefois du côté où le terrain, ayant moins de « consistance, peut faciliter le creusement d'un nou- « veau lit et préparer l'action d'une crue postérieure. « De là naissent les rameaux multipliés qu'on observe « dans le lit des rivieres de cette espece, les isles, les « atterrissements, etc. et, par-dessus tout cela, la va- « riation dans la direction et la situation du lit à chaque « crue. Dans ces rivieres, les ouvrages qu'on fait pour « les contenir ont peu de stabilité : aussi on retire « peu de fruit des moyens qu'on emploie pour chan- « ger leur cours et pour les forcer à se mouvoir en « ligne droite. On peut dire que des fleuves pareils « sont indomtables, et qu'au contraire ceux qui cou- « lent sur du sable sont très maniables à cause de la « parfaite homogénéité des matieres qu'ils charient; « de maniere qu'étant dirigés, ils ne changent pas de « cours, et leurs bords peuvent être facilement dé- « fendus. »

Il y a peu d'articles où l'embarras de Guglielmini soit plus marqué, et où il tombe dans de plus grandes erreurs et dans de plus grandes contradictions, que celui que je viens de citer. Il imagine d'abord que les rivieres charient abondamment du gravier, et qu'elles l'abandonnent quelquefois subitement au milieu de leur cours, parcequ'elles ont perdu leur vîtesse: persuadé que le transport de ces matieres ne dépend que de la force du courant, il ne soupçonne pas que des eaux également rapides agissent contre le fond d'une maniere très différente selon les parties du lit où elles

coulent. Après avoir prouvé que les eaux ont plus de peine à corroder un fond graveleux qu'un fond de sable, il soutient que les ouvrages élevés sur des matieres plus mobiles ont plus de stabilité. Il oublie que les sables sont les parties les plus abondantes des atterrissements qu'on observe dans les rivieres, et que les isles sont aussi multipliées dans les parties du cours des rivieres où elles ne coulent que sur du sable, que dans celles où elles coulent sur du gravier.

Je supprime différentes propositions qui sont ou fausses ou inexactes pour passer au chapitre VII qui est très intéressant. Guglielmini s'y occupe de quelques mouvements particuliers qu'on observe dans les eaux des fleuves. Je vais rapporter ce qu'il dit au sujet des affouillements.

« Les affouillements sont produits par des tourbil-
« lons. Il y a deux especes de tourbillons; savoir, ceux
« qui sont creux au milieu, qui absorbent les eaux du
« fond et des bords, et qui sont formés par deux mou-
« vements dont l'un est perpendiculaire au centre du
« tourbillon, et l'autre est horizontal ou incliné selon
« la longueur du fleuve.

« Les autres tourbillons ne sont autre chose que des
« mouvements sans absorption d'eau, et produits par
« le concours des directions différentes de l'eau occa-
« sionnées par l'inégalité du fond, par la rencontre
« des bords, ou d'autres obstacles, et par la différence
« de niveau des eaux. Ils ont une position fixe ou une
« position variable.

« Les tourbillons de la premiere espece sont très « fréquents; mais ils sont entraînés dans la direction « du courant, et bientôt détruits, parceque son mou- « vement anéantit en peu de temps tous les autres. « Les seconds sont moins communs; mais ils sont bien « plus dangereux par les affouillements qu'ils pro- « duisent, et par la dégradation des bords qu'ils occa- « sionnent. Ils sont formés principalement par la ren- « contre des obstacles qui font un angle droit ou aigu « avec la direction du courant: alors les eaux sont for- « cées de se mouvoir en sens contraire dans la partie « inférieure de ces tourbillons; l'eau est plus élevée « qu'au-dessus à cause des obstacles qui la font haus- « ser..... Plus un tourbillon est resserré, plus il cor- « rode les bords qui le contiennent. C'est ainsi que se « forment les tourbillons au commencement des cor- « rosions au voisinage des bords et des piles des ponts.

« Il est très ordinaire, dans les fleuves dont les bords « sont paralleles, que la plus grande vîtesse ait lieu dans « une direction perpendiculaire au plus haut fond, « et que la direction de l'eau soit la même dans toutes « les tranches: mais il est vrai aussi que la diverse si- « tuation des bords inférieurs, moyens et supérieurs, « fait que la direction des eaux à différentes hauteurs « n'est pas la même, et que cela donne lieu à des tour- « billons qui ne sont pas toujours continués de la sur- « face au fond, mais qui sont quelquefois superficiels, « et qui d'autres fois n'existent que vers le fond.

« Il semble merveilleux que les affouillements aient

« une existence aussi constante, et qu'ils conservent « long-temps la même profondeur. Ce qui rend cela « étonnant, c'est qu'on croit qu'au temps des crues « l'eau reste tranquille aux affouillements, comme « elle est lorsque les eaux sont basses: si cela étoit « vrai, il devroit s'y former des dépôts, ce qui n'arrive « pas. De même qu'il est faux que les affouillements se « remplissent sans le changement des causes qui con- « courent à leur formation, de même il n'est pas vrai « que les eaux conservent au temps des crues le mou- « vement tranquille qu'elles ont au temps des basses « eaux. Il faut donc rechercher d'où peut venir cette « vîtesse suffisante pour entretenir la profondeur du « lit du fleuve et empêcher le comblement des affouil- « lements, et cela ne sera pas difficile en remontant « aux principes que nous avons déja développés.

« Les affouillements ont lieu au voisinage des ob- « stacles. A mesure que les eaux les rencontrent direc- « tement, elles reviennent sur elles-mêmes; il y en a « une partie qui occasionne une élévation plus grande, « tandis que l'autre agit contre le fond du fleuve et le « corrode. C'est là l'origine de l'affouillement. De fait « on ne sauroit concevoir que l'eau puisse corroder le « fond si elle agit dans une direction qui lui soit paral- « lele.... il faut que l'eau en creusant se dirige ou obli- « quement ou perpendiculairement contre le fond; « mais la résistance du terrain et le mouvement des « eaux affluentes la forceront bientôt de remonter du « fond de l'affouillement à la superficie, dans quelque

« point où la hauteur sera moindre et où elle éprou-
« vera moins d'obstacle pour s'écouler. C'est là ce qui
« détermine en partie la longueur et la largeur de l'af-
« fouillement; les autres causes qui y contribuent sont
« la nature et la position des obstacles, la hauteur de
« l'eau, sa vîtesse, et la résistance du fond.

« L'entrée et la sortie de l'eau de la concavité des
« affouillements peuvent avoir lieu de deux manieres:
« ou elle entre par la partie supérieure et elle sort par
« l'inférieure, ou c'est le contraire. Dans le premier
« cas, l'eau suivra un plan incliné dans le sens opposé
« au courant; mais si l'eau sort de la partie supérieure
« de l'affouillement, il s'y formera un tourbillon ver-
« tical, parceque l'eau qui est sortie au-dessus se réu-
« nira au courant du fleuve, et le tout sera poussé par
« les obstacles dans le même affouillement. De là
« vient que les corps que les fleuves charient sont
« poussés de la surface au fond et du fond à la surface
« des eaux avant de sortir de l'affouillement. Ces sortes
« de tourbillons verticaux sont ceux qui corrodent le
« fond du lit des fleuves.

« Les tourbillons horizontaux corrodent aussi le
« fond, mais avec beaucoup moins d'efficacité que les
« verticaux.

« Au temps des crues il se forme souvent des af-
« fouillements au-dessous des tourbillons; mais d'au-
« tres fois on observe qu'ils se forment au-dessous des
« atterrissements. La différence de ces effets vient de
« ce que, dans le premier cas, les tourbillons ont lieu

« dans toute la profondeur du fleuve, et que, dans le « second, ils sont superficiels; et au lieu de creuser le « fleuve, ils ont au-dessous d'eux des eaux stagnantes « ou animées d'un mouvement foible, dans lesquelles « il se forme de grands dépôts ou atterrissements.

« Ces tourbillons ne s'observent pas dans les eaux « basses, et les affouillements sont alors comme de « petits lacs; mais dans les fleuves où les eaux sont « abondantes, ils s'y observent toujours: on les re« marque aussi au temps des basses eaux sur des fonds « graveleux. »

On voit que Guglielmini multiplie les causes pour pouvoir rendre raison des effets. Les tourbillons verticaux sont imaginaires; il modifie leur action selon les circonstances; il les fait tantôt superficiels et tantôt profonds; il leur fait former, dans le premier cas, des atterrissements en imaginant qu'ils ont au-dessous d'eux des eaux tranquilles, comme si la chose étoit possible dans un même courant; dans le second cas il leur fait corroder le fond.

« Les cataractes et les digues qui barrent les rivieres « occasionnent des affouillements. Leurs effets sont de « soutenir le fond du lit supérieur plus élevé qu'il ne « seroit si elles n'existoient pas, et par-là elles empê« chent des approfondissements qui pourroient avoir « lieu; elles n'empêchent pas que les eaux ne trans« portent les pierres qui entrent dans leur lit en des« cendant des montagnes. Ce ne sont d'abord que les « plus petits cailloux qui franchissent les digues; mais lorsqu'une

« lorsqu'une fois le vuide formé au-dessus est rempli, « le fleuve continue à charier comme il le faisoit au- « paravant, ou il ne s'en faut guere. Les digues pro- « duisent de bons effets dans les rivieres qui ont beau- « coup de pente, mais non pas dans celles qui en man- « quent.... elles forment souvent des lacs, lesquels « étant profonds, peuvent suppléer au défaut de la « pente: elles servent pour faire mouvoir des mou- « lins, etc. »

C'est dans le chapitre XII que Guglielmini s'exprime d'une maniere plus précise relativement aux effets des écluses. Je vais rapporter ce qu'il en dit.

« Après qu'on a construit une écluse, il se forme « au-dessus une espece de petit lac dont le creux se « remplit pourtant bientôt des matieres chariées par « le fleuve, telles que les cailloux, le sable, etc. et de « cette maniere le fond du lit du fleuve se rehaussant, « donne lieu à un exhaussement semblable et propor- « tionnel dans les parties supérieures du même lit.... « L'établissement d'une digue n'occasionne aucun « changement à la partie inférieure du lit. L'établisse- « ment du fond des fleuves ne dépend point de l'état « où ils sont au-dessus, mais principalement de leur « embouchure.

« Un fleuve qui porte du gravier avant qu'on y « forme des écluses en portera encore après qu'on les « aura construites, parceque le fond se rétablira in- « sensiblement au-dessus de l'écluse; et, reprenant « son ancienne pente, il portera du gravier comme il

« faisoit auparavant. La partie inférieure, n'éprouvant « aucun changement sensible, ne mettra aucun ob- « stacle au transport des cailloux jusqu'au terme pres- « crit par la nature. »

« Ceux qui croient qu'on peut au moyen des éclu- « ses retenir le gravier dans le lit des torrents, et empê- « cher de cette façon qu'ils n'exhaussent le lit des « fleuves où ils se jettent, se trompent. Il est bien vrai « qu'on peut par ce moyen obtenir une partie de ce « qu'on desire, mais non pas à beaucoup près autant « qu'il le faudroit; car il ne pourroit s'arrêter que le « gravier nécessaire pour combler le creux formé au- « dessus des écluses, et pour rendre au lit l'ancienne « pente qu'il avoit avant la construction des écluses. »

Guglielmini avoit emprunté de Castelli l'idée qu'un fleuve reprenoit constamment son ancienne pente au-dessus des digues : mais cela n'est point exact. On voit que cet auteur ne connoissoit pas les causes qui peuvent contribuer à combler les affouillements au-dessus des digues : il prétend qu'ils se comblent toujours; ce qui est contraire à l'observation : mais il ne pouvoit guere se servir de ses tourbillons pour expliquer comment ils se conservent, parceque les digues sont ordinairement placées perpendiculairement au fil de l'eau dans des endroits où le cours des rivieres est en ligne droite, et où par conséquent rien ne peut occasionner ni tourbillons horizontaux ni tourbillons verticaux.

Le chapitre VIII renferme des détails sur la ma-

niere dont les eaux agissent en se mêlant à d'autres eaux, soit qu'elles soient courantes ou dormantes. On y trouve beaucoup de choses vraies; mais les articles les plus importants sont appuyés sur une théorie fausse.

« Au temps des crues, l'élévation des eaux est « moins sensible à l'embouchure qu'à une certaine « distance au-dessus. Cette observation a été faite par « Castelli. Cela doit avoir lieu principalement à la « mer, parceque ses eaux ne sont pas élevées par « l'entrée d'un fleuve, quelque grand qu'il soit.

« Quelques pouces d'élévation à l'embouchure oc« casionneront des élévations de plusieurs pieds à une « certaine distance de l'embouchure: pourtant il n'est « pas vrai que les fleuves n'augmentent de vîtesse près « de l'embouchure qu'autant que le voisinage de l'en« trée libre peut les rendre plus rapides.

« Si un fleuve qui se présenteroit dans un autre « fleuve ou dans la mer, n'étoit pas assez fort pour en « surmonter la résistance, il s'éleveroit, ou parceque « sa vîtesse seroit retardée, ou parceque les eaux qui « devoient le recevoir regorgeroient dans les siennes: « mais par cette élévation il acquerroit la force néces« saire pour entrer; il la tireroit de l'opposition même « qu'il auroit à combattre.

« L'eau près de l'embouchure coule plus vîte, par« cequ'une petite hauteur vive d'eau ajoutée à la pre« miere suffit pour produire une grande accélération, « attendu la grandeur de la section. Cela s'observe

« plutôt dans les fleuves qui ont peu de pente que dans « ceux qui en ont beaucoup.

« Il faut faciliter autant qu'il est possible l'écoule-« ment des eaux, et imiter la nature, qui, dans les « fleuves, leur fait former un grand nombre d'embou-« chures qui servent selon les occasions. »

Guglielmini, dans le chapitre IX, oublie l'avantage que les rivieres trouvent en se formant naturellement des embouchures et des lits différents. Il dit que c'est une grande adresse de la nature que de réunir plusieurs fleuves ensemble. Ce chapitre renferme de très grandes erreurs, et les effets véritables qui y sont rapportés ne sont pas produits par les causes indiquées par l'auteur. Voici les propositions qui méritent davantage d'être relevées.

« Deux fleuves égaux qui entrent dans la mer par « des embouchures différentes ont plus de largeur que « s'ils étoient réunis, parceque le frottement est dimi-« nué, et parceque le fond est creusé davantage.

« Deux fleuves unis creusent davantage leur lit, « parceque l'augmentation de vîtesse rendra le fond « plus facile à être corrodé: la vîtesse sera plus grande « vers le milieu, et à leur embouchure les eaux auront « une plus grande profondeur.

« L'approfondissement du lit ne se fera pas seule-« ment après que les deux fleuves seront confondus, « mais il sera même produit au-dessus.

« La différence de niveau dans les fleuves unis est « moindre (toutes autres choses égales) que dans les

« fleuves séparés. La principale raison est que les « fleuves qui auront plus de vîtesse baisseront davantage de niveau, et par conséquent auront moins « d'élévation sur le niveau du récipient.

« Si un fleuve coule avec peu de pente, et si, après « avoir cessé de charier du gravier, il reçoit un fleuve « qui en transporte encore, il sera forcé de changer de « cours, ou d'élever son lit dans la partie supérieure.... « la corrosion des bords aura plutôt lieu que l'exhaus- « sement du fond, et elle continuera jusqu'à ce que le « lit du fleuve qui charie du gravier se soit prolongé « jusqu'au point où il cessera de transporter de ce gra- « vier. .... Les fleuves qui reçoivent des tributaires ont « leur courant éloigné des racines des montagnes; ils « en sont comme repoussés. »

Voici les conséquences des principes établis dans ce chapitre : 1°. Il ne faut pas réunir les rivieres qui charient du gravier avec celles qui roulent sur un fond sablonneux. 2°. Il ne faut pas abréger davantage le cours des rivieres qui charient du gravier vers leur embouchure. 3°. Les corrosions des bords dans les fleuves unis sont inévitables et sans remede. 4°. Il est plus avantageux de faire déposer le gravier dans l'influent en alongeant son cours, et même en le faisant serpenter, que de l'introduire dans cet état.

Il est question, dans le chapitre X, de l'accroissement et de la diminution des eaux des fleuves, et des proportions que suivent ces accidents; j'en extrairai quelques passages qui présentent des assertions qu'il est impossible d'adopter.

« Les fleuves en entrant dans les autres y occa-
« sionnent des crues d'autant plus considérables, que
« les eaux de ceux-ci sont plus basses.

« Les plus grandes crues dans le même fleuve, ob-
« servées dans le même lieu, sont plus rapides que
« celles qui sont moins considérables. Le contraire
« arrive pourtant quelquefois; c'est-à-dire qu'il ne faut
« pas juger de la grandeur de la crue par la hauteur
« des eaux, mais bien par leur vîtesse.

« Les fleuves ne s'élevent pas à proportion de la
« quantité d'eau qu'ils reçoivent. Un petit fleuve peut
« entrer dans un grand sans augmenter sa largeur, ni
« même sa hauteur. Ce paradoxe apparent est fondé
« sur ce qu'il est possible que le petit n'ait fait que
« rendre coulantes dans le grand les eaux des bords
« qui ne l'étoient point, et augmenter la vîtesse du fil,
« le tout dans la même proportion qu'il a augmenté la
« quantité de l'eau. Le bras du Pô de Venise a absorbé
« le bras de Ferrare et celui de Panaro sans aucun élar-
« gissement de son lit. Il faut raisonner de même à
« proportion de toutes les crues qui surviennent aux
« rivieres, et, en général, de toute nouvelle augmen-
« tation d'eau qui accroît aussi la vîtesse.

« Les crues des fleuves sont occasionnées non seu-
« lement par les pluies et les fontes de neige, mais en-
« core par les eaux des gouffres qui existent dans le
« sein de la terre.

» Il arrive que les grandes crues occasionnent des
« dépôts dans le lit des fleuves, et les dépôts formés au

« temps de ces crues sont emportés lorsque les crues « sont passées. »

Le traité des fleuves de Guglielmini finit proprement au chapitre X. En effet, le chapitre XI a pour objet de faciliter l'écoulement des eaux des campagnes dans les rivieres; le chapitre XII traite des canaux de conduite; le chapitre XIII a pour objet les améliorations et le desséchement des terres marécageuses.

Le chapitre XIV est extrêmement important par son objet: il y est question d'établir des regles pour faire avec avantage les changements qu'on desire au cours des fleuves. On y trouve beaucoup de réflexions utiles: mais comme l'auteur avertit lui-même que les regles qu'il va donner sont fondées sur la théorie qu'il a développée dans son ouvrage, et principalement dans le chapitre V, on ne sauroit les lire avec trop de défiance; je me contente d'en citer deux articles.

« Les coupements et les redressements des rivieres « qui coulent sur du gravier produisent rarement pen« dant long-temps les avantages qu'on en pourroit « attendre, parcequ'il est de leur nature de changer « de cours..... mais les mêmes changements faits à « des fleuves qui coulent sur du sable se conservent « naturellement pendant plus de temps, et ils ont « même une sorte de perpétuité lorsqu'on a eu les « attentions convenables.

« Il paroît assez conforme à la nature et aux obser« vations qui ont été faites sur les fleuves, que les gra« viers introduits sur un fond horizontal ne peuvent

« être transportés plus loin, quelque considérable que « soit la force des eaux courantes; et de fait, on n'en « voit point qui en charient d'aucune maniere à leur « embouchure. C'est pour cela que j'ai toujours cru, « ainsi que je l'ai dit ailleurs, que la raison pour la- « quelle le Pô a établi son lit au milieu des plaines de « la Lombardie, a été que les fleuves influents qui le « grossissent des deux côtés l'ont forcé d'occuper la « place qu'il a à présent. En effet, on observe qu'au- « delà des points de son cours où il cesse de charier du « gravier, il ne reçoit des influents que du sable: d'où « il semble qu'on peut conclure que les fleuves qui « coulent sur du gravier, quelle que soit l'abondance « de leurs eaux, ont toujours besoin que leur lit ait « quelque pente, laquelle doit être probablement plus « grande que celle qui est nécessaire à des fleuves « moins considérables qui coulent sur du sable, c'est- « à-dire de plus de 15 à 16 pouces par mille, et qui « doit augmenter à proportion de la maigreur des « eaux et de la grosseur des graviers. »

Guglielmini fait dépendre la pente des rivieres de la force du courant, ou, ce qui est la même chose selon lui, de la vîtesse des eaux: il prétend qu'à mesure que cette vîtesse augmente, la pente diminue; d'un autre côté il reconnoît une extrême mobilité à l'eau. En adoptant la théorie ordinaire sur les effets de la pression, il est obligé d'admettre que la vîtesse produite par la hauteur des eaux vives est fort supérieure à celle qui est occasionnée par l'accélération.

tion. A mesure que les fleuves se réunissent, les eaux vives sont plus considérables et leur pente est moindre : donc, selon lui, leur vîtesse augmente. C'est sur ces principes faux que porte tout l'ouvrage de Guglielmini. S'il renferme des vérités, on ne doit pas lui en faire honneur, parcequ'elles n'ont pas été déduites de ses principes. On peut très souvent s'appuyer de l'autorité de cet auteur pour soutenir des propositions contraires, selon qu'on fait usage des bonnes observations qu'il a publiées, ou de la théorie qu'il a employée. Le succès de son ouvrage doit être attribué à l'art avec lequel il est fait, à l'obscurité qui y est répandue, et, le dirai-je ? aux absurdités mêmes qu'il renferme, et qui se sauvent mutuellement.

Je vais terminer son article par quelques réflexions sur la maniere dont il explique l'action des eaux sur le gravier. Il établit avec fondement qu'un corps est mis avec d'autant plus de facilité en mouvement, qu'il repose sur un plan plus incliné ; et il conclut avec raison de ce principe qu'il faut une force plus considérable pour déplacer les gros graviers que pour déplacer les petits : mais si la force du courant augmente, la facilité de charier du gravier augmentera nécessairement, et la diminution de l'inclinaison du plan pourra être aisément compensée par l'augmentation de la vîtesse, d'autant mieux que la pente des rivieres est toujours fort petite. Donc, selon Guglielmini, les rivieres devroient charier d'autant plus abondamment des cailloux, qu'elles approchent da-

vantage de leur embouchure, puisqu'alors la vîtesse, soit qu'elle soit produite par l'accélération ou par la hauteur des eaux vives, est plus considérable. Or cela est tout-à-fait contraire à l'observation.

Guglielmini sentit parfaitement les conséquences de ses principes : aussi il imagina que les cailloux ballottés et poussés par l'impulsion des eaux se trouvoient ordinairement réduits en sable avant de parvenir à l'embouchure des rivieres. Pourtant il est aisé de reconnoître qu'il n'étoit pas satisfait de son explication : il montre dans toutes les occasions combien les cailloux l'embarrassent. En parlant des rivieres qui en ont dans leur lit, (eh! quelles sont celles qui n'en ont pas?) il soutient qu'elles sont indomtables. Il s'efforce encore, dans le chapitre XIV, de faire voir pourquoi les rivieres n'ont pas des cailloux près de leur embouchure. Il ne craint pas d'avancer qu'en supposant l'eau animée d'une aussi grande vîtesse qu'on voudra, on ne sauroit concevoir qu'elle fût jamais capable de charier des cailloux sur un fond horizontal. On ne peut certainement rien dire de plus contraire aux premiers principes de la mécanique ; mais il faut remarquer encore que Guglielmini avoit dit déja que les cailloux n'étoient pas arrêtés par les digues. Ainsi, selon lui, les eaux, quelque rapides qu'elles soient, ne peuvent pas charier des graviers sur un fond horizontal, et elles peuvent en transporter sur un plan incliné en sens contraire du courant.

Zendrini a beaucoup écrit sur l'architecture hy-

draulique, et il a joui d'une grande réputation en Italie. Cet auteur adopte la théorie de Guglielmini sur la vîtesse des eaux; il fait dépendre uniquement de leur rapidité le transport du gravier; il pense, comme Viviani, que le poids des matieres qu'on observe dans le lit des fleuves, sur-tout lorsqu'ils ne sont pas permanents, peut servir à faire connoître la force de l'eau, et par-là le poids des matieres qui pourront surmonter son action. « Il suffira, dit-il n°. XLVI, aux in-
« génieurs de savoir distinguer la force de l'eau selon
« les différents points du cours des fleuves; car elle est
« fort différente dans les endroits où les eaux coulent
« sur du sable de ceux où elles coulent sur du gravier:
« ainsi les défenses pour garantir les bords doivent
« être relatives aux matieres chariées.... Les ouvrages
« près de la mer doivent être les plus foibles ». Zendrini a aussi emprunté de Castelli ses idées sur l'effet des écluses.

Je ne m'arrête pas à relever toutes les erreurs qu'on trouve dans les divers ouvrages qui forment le recueil italien imprimé à Parme; elles ont la même origine; elles dérivent toujours des principes de Galilée, de Castelli, de Viviani, de Grandi et de Guglielmini. On ne peut considérer ceux qui les ont adoptées que comme des commentateurs qui rapportent les idées de leurs maîtres. On les trouvera toutes rassemblées dans un traité du P. Lecchi, Jésuite, sur la séparation des torrents de Tradate, de Guardeluso et de Bozzenzo; et cet auteur en a établi de nouvelles en

prescrivant la forme qu'on doit donner aux torrents.

Tous les journaux ont annoncé avec les plus grands éloges le traité des torrents et des rivieres du P. Frisi; il s'en est fait plusieurs éditions. La réputation distinguée que cet auteur s'étoit acquise en traitant des matieres différentes a servi à faire valoir son travail sur le mouvement des eaux; il s'est trompé pourtant, comme tous les auteurs qui l'avoient précédé, sur la maniere dont les fleuves établissent leur lit. Après avoir montré que Guglielmini s'étoit mépris en imaginant que les cailloux se réduisoient en sable avant de parvenir à l'embouchure des fleuves, il se trompe lui-même en indiquant une origine commune à tous les cailloux. Après avoir répandu des doutes sur la certitude des principes de Guglielmini relativement à la vîtesse des eaux courantes, il les regarde comme bien établis par l'expérience; il les adopte et en fait des applications. Dans Guglielmini on voit une cause puissante produire des effets extraordinaires: tout est imaginaire, mais tout est proportionné. Dans l'ouvrage du P. Frisi, une cause encore plus puissante est établie et employée, et on annonce en même temps qu'elle ne produit que des effets peu sensibles.

On connoît les idées de Genneté. Selon lui, la vîtesse des fleuves augmente presque dans le même rapport que le volume des eaux qui y entrent. Ces assertions sont très singulieres; et si elles étoient vraies, tout le monde voit qu'il n'existeroit jamais d'inondation. Elles donnent des résultats absolument opposés

à l'observation et à la théorie de Guglielmini. Cela n'empêche pas le P. Frisi de les adopter encore, et de citer des faits qui paroissent les démontrer.

Viviani, Guglielmini, Grandi, etc. avoient dit que les écluses diminuent la vîtesse des eaux supérieures, et qu'elles occasionnent nécessairement l'exhaussement du lit jusqu'à l'origine des fleuves. Le P. Frisi est de leur avis. Castelli, Zendrini, Lecchi, etc. avancent que les eaux s'accélerent près de l'embouchure des écluses, que cette accélération se fait sentir à une grande distance au-dessus, et qu'on ne peut arrêter les graviers sans donner aux écluses une élévation considérable. Le P. Frisi adopte aussi leur opinion; et, ce qui est singulier, c'est qu'il s'est trompé dans les deux cas.

On avoit dit, pour soutenir l'opinion de Guglielmini, que, si les cailloux ne se réduisoient pas en sable, le lit des rivieres s'éleveroit très rapidement. Le P. Frisi remarque alors que le nombre des cailloux que les rivieres charient n'est pas aussi considérable qu'on l'imagine; qu'ils se répandent sur toute l'étendue du lit, et qu'on les emploie pour la construction des chemins, et à d'autres usages.

Mais quand il est question de régler les rivieres qui charient des cailloux, il ne paroît plus avoir la même façon de penser; il prétend qu'en les dirigeant en ligne droite, on force les eaux d'élever considérablement leur lit, et de porter plus loin le gravier. Ces effets lui paroissent si prompts, qu'il ne balance pas

d'affirmer que les rivieres qui charient des cailloux sont indomtables; qu'il faut les laisser telles qu'elles sont, les rendre même plus tortueuses, et les barrer par des écluses pour retenir le gravier dans leur partie supérieure.

Le P. Frisi attribue la vîtesse des eaux dans les fleuves à la pente du lit, à la hauteur vive des sections, et à la pente de la surface. En considérant la seconde cause d'après les idées de Guglielmini, on voit qu'elle devient beaucoup plus puissante que la premiere lorsque le volume des eaux a augmenté. Aussi le P. Frisi avance que les fleuves dans la partie inférieure de leur cours ont une vîtesse très considérable, laquelle seroit suffisante pour qu'ils pussent toujours charier des graviers, si les matieres avoient été amenées jusques-là des parties supérieures. Selon lui, la vîtesse des fleuves augmente encore davantage vers leur embouchure, et il attribue cet effet à l'accélération qu'occasionne à l'embouchure même la liberté qu'ont les eaux de se répandre dans la mer, attendu que leur niveau est élevé de quelques pieds sur sa surface.

Je ne m'arrêterai pas davantage sur un écrit dont les principes sont à la fois inexacts et contradictoires, et dont la partie pratique fournit des regles qu'il seroit infiniment dangereux d'adopter.

En rendant compte des travaux des auteurs italiens, je voulois me borner d'abord pour tous à une courte analyse de leur théorie; la marche du discours auroit

été ainsi plus rapide : mais la réputation qu'ils ont obtenue, et la crainte de paroître injuste à leur égard, m'ont imposé la loi de les suivre, pour ainsi dire, pied à pied. Cependant, comme ils ont adopté presque généralement les mêmes principes, je n'ai cru devoir discuter rigoureusement que l'ouvrage qui avoit acquis une plus grande célébrité; je ne me suis arrêté sur les autres que lorsque j'y ai trouvé quelque vérité ou quelque erreur nouvelle. J'espere que les lecteurs me pardonneront, en faveur des motifs que j'allegue, la longueur des extraits que j'ai mis sous leurs yeux; peut-être me sauront-ils même gré des soins que j'ai pris de rassembler ce qu'on trouve de plus important dans l'ouvrage que je cite. D'ailleurs, tant que les sciences ne sont pas établies sur des principes certains, l'histoire de leurs progrès n'est que celle des opinions des hommes; à mesure qu'elles tendent à la perfection, elles se dépouillent insensiblement de ce cortege qui les dépare. Les opinions sont caractérisées, les erreurs sont reconnues, et la vérité reste.

On peut faire deux classes des auteurs étrangers à l'Italie qui ont écrit sur l'hydraulique. Les uns n'ont donné que des théories générales purement spéculatives; les autres, paroissant avoir eu plus particulièrement en vue l'utilité publique, ont cherché dans l'observation des résultats qu'on pût adopter avec confiance. Les premiers ont plus étendu la chaîne des vérités géométriques que contribué au progrès de la science qui étoit l'objet de leurs recherches. Le tra-

vail des derniers a appris à se défier des fausses lumieres répandues par le génie, et est parvenu à placer d'intervalle en intervalle sur un chemin obscur des lueurs qui permettent de le suivre avec quelque sûreté. On doit citer avec éloge parmi ceux-ci M. Mariotte (1). Son traité du mouvement des eaux renferme une multitude d'expériences qui ont beaucoup contribué à perfectionner l'hydraulique pratique.

Les méditations de M. Varignon sur le mouvement des eaux se réduisent à avoir mis en formules les ouvrages de Guglielmini, dont il a affermi la réputation, et auquel il a donné plus d'autorité.

Les travaux de M. Belidor seront toujours consultés. Il a formé un dépôt bien précieux en rassemblant la description d'une multitude d'ouvrages hydrauliques importants et couronnés par des succès. Cet auteur ne mérite cependant pas toujours une confiance égale; on doit se défier de la théorie qu'il a suivie, et qui est la même que celle de Guglielmini.

Les génies les plus distingués de ce siecle ont donné des théories générales du mouvement des fluides; tous sont parvenus aux mêmes résultats en suivant des routes différentes. Cette conformité annonceroit peut-être leur succès commun, s'ils ne s'étoient reproché

(1) On peut dire à sa gloire qu'il ne paroît pas avoir été séduit par la théorie des auteurs italiens sur le mouvement des eaux courantes; et s'il ne l'a pas combattue directement, il a du moins publié des observations qui en démontrent la foiblesse.

mutuellement d'avoir voilé leur marche sous une obscurité plus ou moins profonde : d'ailleurs leurs formules sont souvent moins propres à satisfaire l'esprit qu'à l'étonner, et elles ne fournissent dans la pratique aucun secours. Il falloit cependant rendre utiles ces méditations élevées, et marquer les modifications que la nature avoit mises au mouvement des fluides considérés d'une maniere trop abstraite. M. l'abbé Bossut, placé au même rang que les illustres géometres qui l'avoient précédé, a fait l'exposition de leurs recherches; mais ne se bornant pas à présenter des vérités purement intellectuelles, il a consulté soigneusement l'expérience, et il a donné dans son hydrodynamique une infinité de preuves d'une extrême sagacité.

En lisant les auteurs les plus modernes qui ont écrit sur l'hydraulique, on reconnoît aisément, malgré les différentes formes sous lesquelles leur travail a paru, qu'ils ont adopté les vues de Daniel Bernoulli. Cette remarque annonce la haute opinion qu'on a eue de ses talents, et montre l'influence de son génie sur celui de ses contemporains. Il n'a manqué sans doute à ce savant que des observations assez exactes pour y pouvoir appliquer avec succès les connoissances profondes qu'il avoit des mathématiques : mais l'édifice qu'il a élevé tient trop à des idées hypothétiques; et les résultats qu'il trouve, ou ne sont pas confirmés par l'expérience, ou dépendent de causes fort étrangeres à celles dont il a fait usage. Je vais donner quelques extraits de son hydrodynamique; j'y joindrai quelques

réflexions courtes, et je ne m'arrêterai que sur quatre points importants, relatifs aux objets que j'ai été obligé de traiter.

I. Du mouvement des eaux dans les canaux.

Cette branche importante de l'hydraulique n'a pas été traitée par M. Bernoulli, et il paroît avoir adopté la théorie de Guglielmini. Voici comment il s'exprime au sujet de cet auteur italien : « Ce que les anciens (1) « ne virent que d'une maniere obscure et sans en don- « ner des mesures déterminées, Guglielmini l'a com- « pris dans cette proposition générale et exacte, que « la vîtesse de l'eau qui coule dans un canal incliné est « la même que si le fluide s'échappoit d'un vase par « un orifice semblable de section égale, et autant éloi- « gné de la surface de l'eau que l'est la section de la « ligne horizontale qui passe à l'origine du canal. »

II. Loix de la vîtesse de l'eau qui sort d'un cylindre non vertical entretenu plein.

« L'eau dans le vase (2) s'accélere dans les premiers « instants de la même maniere que les corps qui tom- « bent librement: si l'orifice est infiniment petit, la « vîtesse est produite par toute la hauteur du vase; si « l'orifice est égal au fond, l'eau tombe librement.

« La vîtesse (3) augmente à mesure que l'orifice est « plus petit; mais ce n'est que lorsque cet orifice est « assez petit qu'on peut regarder la vîtesse comme « produite par la chûte de la hauteur du vase. Si le

(1) Page 5. (2) Pages 37, 38. (3) Page 39.

« rapport de l'orifice au fond est $\frac{1}{16}$, la hauteur à la-
« quelle on attribuera la vîtesse sera les $\frac{92}{100}$ de la hau-
« teur du cylindre. »

Ces résultats approchent beaucoup de ceux qu'on déduit de la théorie que j'ai employée.

« s'Gravesande (1) avoit observé qu'en adaptant un
« tube vertical à un vase cylindrique vertical, l'écou-
« lement de l'eau étoit augmenté, et cela d'autant
« plus, que la partie inférieure du tube avoit un dia-
« metre plus grand qu'à l'endroit de l'insertion avec
« le cylindre. »

M. Bernoulli, en soumettant ces cas au calcul, considere l'eau contenue dans le tube et dans le cylindre comme une masse unique ; il conclut que l'eau ne coule pas différemment d'un vase auquel on auroit adapté des tuyaux additionnels verticaux que d'un vase cylindrique de même hauteur que celles du vase et des tuyaux additionnels réunis. J'ai indiqué dans mon ouvrage la cause qui produit une plus grande dépense lorsqu'on adapte à des vases des tuyaux additionnels; et j'ai fait voir en même temps que la vîtesse de l'eau, loin d'être augmentée, étoit au contraire nécessairement diminuée.

« Frontin (2) avoit dit qu'en adaptant un tube co-
« nique horizontal à un vase cylindrique vertical,
« l'eau sortoit de celui-ci avec plus de vîtesse. Cela
« avoit été nié par les modernes; mais l'expérience
« est conforme à l'assertion de Frontin. »

(1) Page 44. (2) Page 57.

L'effet des tuyaux additionnels coniques est le même, quelle que soit leur position : la dépense des vases augmente, mais non pas la vîtesse.

III. Loix du mouvement des eaux lorsqu'elles s'échappent de vases entretenus constamment pleins.

(1) « Si a représente la hauteur du vase, $\frac{n}{m}$ le rap-« port de l'orifice au fond absolu ; la hauteur qui pro-« duit la vîtesse à l'orifice est égale à $\frac{m^2 a}{m^2-n^2}$, et la hau-« teur nécessaire pour produire la vîtesse de l'eau qui « sert à entretenir le vase à la même hauteur sera « égale à $\frac{n^2 a}{m^2-n^2}$. »

Si, dans la formule $h=\frac{m^2 a}{m^2-n^2}$, on suppose l'orifice infiniment petit, ou $n=0$, on aura $h=\frac{m^2 a}{m^2}=a$; ce qui est conforme à l'expérience : mais, à mesure que l'orifice a une valeur sensible par rapport au fond, la formule annonce que la vîtesse à l'orifice va toujours en croissant, et qu'elle devient même infinie lorsque l'orifice est égal au fond absolu. Ces conséquences sont si éloignées de la vérité, que je ne conçois pas comment on a pu adopter si généralement une théorie pareille : si elle étoit vraie, pour former des jets d'eau élevés il suffiroit d'avoir des volumes de ce fluide considérables, et il ne seroit pas nécessaire qu'ils fussent renfermés dans des réservoirs bien élevés au-dessus de l'endroit où les ajutages seroient établis.

(1) Page 95.

Si les formules données par M. Bernoulli ne représentent pas les effets qui ont lieu réellement, cela paroît venir de la supposition qu'il a faite que l'eau, dans le vase entretenu toujours plein, parvient bientôt à l'uniformité. On voit aisément que, lorsque l'orifice est égal au fond, le mouvement ne peut devenir uniforme qu'autant que la vîtesse est infinie par rapport à celle de la pesanteur. Mais, dans ce cas-là même, est-il impossible que le vase soit entretenu plein sans que la vîtesse soit différente de celle que la pesanteur peut produire? non certainement, et je fais voir la maniere dont cela peut avoir lieu. Dans les autres cas, c'est-à-dire lorsque l'orifice est plus petit que le fond, l'eau dans le vase obéit à la pesanteur modifiée, et la quantité de fluide qui s'échappe dans un temps donné est la même que si l'orifice étoit égal au fond absolu, et que si l'eau obéissoit librement à une force accélératrice qu'il est aisé de déterminer, et qui est d'autant plus foible, que l'orifice devient plus petit. Mais, dans tous les cas, le mouvement de l'eau dans le vase ne sera pas uniforme, parceque l'uniformité ne peut être l'effet d'une force accélératrice.

IV. De la réaction des fluides en sortant des vases, et de leur action sur les plans qu'ils choquent.

« Newton (1) avoit avancé, dans la premiere édi-« tion des Principes mathématiques, page 332, que « l'eau en sortant d'un vase agissoit sur ce vase de la

(1) Page 278.

« même maniere qu'un boulet agissoit dans le canon « à mesure qu'il en étoit chassé.

« La force avec laquelle un vase est repoussé, soit « qu'il soit percé au fond, soit qu'il le soit sur les côtés, « est égale au poids d'une colonne d'eau qui auroit « pour base la veine contractée, et pour hauteur le « double de la hauteur du niveau de l'eau au-dessus « de l'orifice.

« La force avec laquelle l'eau qui s'échappe d'un « vase agit sur un plan est égale au poids d'une co- « lonne de fluide qui auroit pour base la veine con- « tractée, et une hauteur double de celle du fluide « dans le vase au-dessus de l'orifice. »

L'estimation de cette derniere force est juste lorsque l'orifice est petit; elle est fondée sur la théorie, et elle est confirmée par l'expérience : mais quant à l'existence et à l'évaluation de l'autre force, on ne sauroit être de l'avis de M. Bernoulli.

Considérons une zone horizontale de même hauteur sur un vase cylindrique ou prismatique rempli d'eau; toutes les parties de cette zone semblablement situées éprouveront la même pression : ainsi des espaces égaux, horizontaux et opposés, éprouveront des efforts égaux. Mais si, après avoir déterminé deux espaces horizontaux opposés et égaux, on en ouvre un pour laisser échapper l'eau librement tandis qu'on entretient d'ailleurs celle du vase à la même hauteur, la pression exercée sur l'espace opposé à l'orifice sera au plus égale à celle qui avoit lieu lorsque l'eau étoit

en repos : or c'est cette pression seule qui peut occasionner le recul du vase.

Il est indubitable que la force avec laquelle le vase est poussé en sens contraire de l'orifice est d'autant plus foible, que l'orifice est plus grand; car, si cet orifice éprouvoit une pression égale à celle du fond absolu, dès-lors l'eau tomberoit librement dans le vase, et ses parois n'éprouveroient par conséquent plus de pression.

Il est certain encore qu'un vase rempli d'eau ne peut être poussé en sens contraire de l'orifice qu'autant que l'orifice est horizontal. Cet effet est produit par la mobilité extrême des parties des fluides qui permet que la pesanteur s'exerce latéralement avec une énergie égale à celle qu'elle exerce verticalement; mais lorsque l'orifice est percé au fond d'un vase, alors il n'y a point de pression exercée en sens contraire de l'orifice, parceque la pesanteur ne peut pas agir de bas en haut.

Il n'en seroit pas de même si le vase, au lieu d'être rempli d'eau, l'étoit d'un fluide élastique : dans ce dernier cas, ce vase pourroit éprouver un recul dans tous les sens, et cet effet auroit toujours lieu dans la direction opposée à celle qu'auroit l'orifice. Mais comme ces cas ne peuvent pas être comparés, Newton fit très bien de supprimer, dans la seconde édition du livre des Principes, ce qu'il avoit avancé dans la premiere; car on ne peut pas dire que l'eau en sortant d'un vase repousse ce vase de la même maniere que le boulet

contribue au recul du canon, puisque le canon éprouve, quelle que soit sa position, un recul lorsque le boulet s'échappe, et que le recul n'a pas lieu dans un vase lorsque l'orifice est vertical: d'ailleurs on ne peut jamais dire que l'eau en sortant d'un vase repousse ce vase; ces expressions ne peuvent présenter qu'une idée fausse.

M. de Buat a publié en 1780 un traité sur les rivieres, dans lequel il a employé des principes nouveaux; il montre très bien que la vîtesse doit être la même dans les différents points de la section d'un fleuve dont le cours est établi, et que le principe de Guglielmini, relatif à la vîtesse produite par la hauteur des eaux vives, est entièrement imaginaire (1). Cet auteur n'a cependant pas connu les loix de l'écoulement libre à l'extrémité des canaux lorsque l'eau y est entretenue à une hauteur constante; il a suivi alors, comme dans les loix de l'écoulement par de petits orifices, la regle de Torricelli.

M. de Buat a représenté par des formules simples le mouvement des eaux dans le lit des rivieres; mais la théorie qu'il établit donne-t-elle des résultats conformes à l'observation? On sait que c'est là le caractere qui détermine la confiance qu'on doit accorder aux raisonnements mathématiques appliqués à la physique.

---

(1) J'avois fait la même observation dans un mémoire présenté en 1778 à l'Académie de Lyon, et qui y obtint un prix.

Si les rivieres conservoient dans une étendue un peu considérable la même largeur, la même pente et la même profondeur, en supposant qu'on parvînt à connoître l'influence de chacun de ces éléments sur le mouvement des eaux, on en auroit une théorie complete, et on résoudroit facilement toutes les questions relatives à cet objet: mais il s'en faut de beaucoup qu'on observe une aussi grande régularité dans les rivieres; leur largeur, leur profondeur et leur pente changent continuellement; leur vîtesse n'est jamais uniforme, non seulement dans des parties peu éloignées de leur cours, mais encore dans chaque point particulier. On observe par-tout sur la même largeur une multitude de courants différents, soit que les eaux soient basses, soit qu'elles soient élevées; même c'est lorsqu'elles sont dans ce dernier état que la différence des vîtesses est plus sensible, et que le principal courant se distingue des autres par une plus grande élévation.

Si, dans l'état physique des choses, les rivieres n'offrent rien d'uniforme, les formules qu'on emploie pour représenter leur cours doivent nécessairement, pour être fideles, renfermer toutes les irrégularités qu'on observe. On juge aisément que cette théorie ne peut être rigoureuse sans être extraordinairement compliquée, et qu'elle perdra de justesse et d'exactitude à proportion qu'elle sera plus simplifiée. Ainsi, par exemple, en adoptant la théorie de M. de Buat, et en supposant que, connoissant la largeur, la pro-

fondeur et la pente d'une riviere, on voulût avoir sa vîtesse, je demanderai si la vîtesse donnée par la formule sera celle du principal courant, ou une de celles qui sont comprises entre la plus grande et la plus petite. Il est simple que cette vîtesse ne sera égale à celle qu'on cherche qu'autant qu'elle exprimera la vîtesse moyenne des eaux: mais quelle raison aura t on pour croire que la vîtesse de la formule soit précisément celle qu'on veut avoir?

M. de Buat paroît n'avoir pas fait assez d'attention à l'état physique des rivieres. Ses principes sur l'action des eaux pour corroder le fond sont précisément les mêmes que ceux des auteurs qui l'ont précédé. On peut voir ses opinions sur l'état primitif de la terre, et sur la maniere dont les rivieres établissent leur lit, au chapitre IV, page 67: au reste, il a donné de fort bons principes sur les effets des coupements, et son ouvrage renferme un grand nombre de choses utiles.

On sera étonné sans doute de me voir dans une carriere que tant d'hommes illustres ont parcourue: je ne m'y présente pas avec des talents semblables, mais j'y viens avec de meilleures observations; l'étude des rivieres a été mon objet principal. J'ai montré que des ouvrages célebres sur cette matiere ne méritoient ni leur réputation ni la confiance du public; en suivant attentivement les phénomenes, je crois être parvenu à les distinguer tous, et à indiquer les véritables causes qui les produisent: aussi je suis persuadé que mes recherches ne seront pas entièrement inutiles à ceux

qui, doués d'un génie distingué, voudront s'occuper du même sujet (un des plus beaux que la philosophie naturelle présente) et le traiter avec l'étendue qu'il mérite.

Comme je ne pouvois pas adopter les principes de Guglielmini sur la vîtesse des eaux courantes, j'ai été obligé de revenir sur les premiers principes de l'hydraulique. J'ai cherché d'abord les loix du mouvement de l'eau lorsqu'elle sort d'un vase prismatique droit; j'ai supposé ce fluide entretenu à la même hauteur, et ayant sa surface toujours horizontale; j'ai ainsi considéré toutes ses parties comme animées d'une même vîtesse, comme formant une masse unique. Cette vîtesse est produite par la pesanteur; mais il falloit déterminer la maniere dont cette force est modifiée: il étoit aisé de voir que son effet dépendoit essentiellement du rapport de l'orifice au fond du vase, et que le mouvement de l'eau dans un vase entretenu plein pouvoit être assimilé à celui qui se fait librement le long d'un plan incliné. Le fond soutient-il, par exemple, la cinquieme partie du poids de l'eau, j'imagine un pareil nombre de tranches égales à celles qui sont contenues dans le vase, disposées sur un plan incliné de maniere que ce plan supporte la cinquieme partie de leur poids. Dans les deux cas, la pesanteur est semblablement modifiée, et par conséquent le mouvement de l'eau doit être le même.

L'action de la pesanteur modifiée doit être évaluée pour le temps qu'un grave emploie à tomber librement

de la hauteur du vase; pendant ce temps déterminé, la hauteur, dont la tranche qui étoit d'abord la plus élevée s'abaissera, déterminera la dépense du vase. Pour connoître la vîtesse de l'eau qui sort par l'orifice, il faudra augmenter la hauteur dont l'eau se sera abaissée dans le vase, dans le rapport que le fond est plus grand que l'orifice.

Une formule simple embrasse tous les cas. Lorsque le fond est détruit, l'eau tombe librement par l'orifice; et lorsque l'orifice est infiniment petit, la vîtesse de l'eau qui s'échappe est égale à celle qui seroit produite par la chûte libre de la hauteur du vase: ce qui est conforme au célebre théorême de Torricelli.

Après avoir fait sur cette théorie des remarques propres à l'éclaircir et à la modifier, j'ai rapporté toutes les applications dont elle est susceptible; j'ai essayé d'y ramener le cas où l'écoulement a lieu par des orifices verticaux; et j'ai remarqué le premier que, dans un canal horizontal et régulier dans lequel l'écoulement se feroit par des orifices percés sur une face verticale élevée à une de ses extrémités, il y avoit un cas qui répondoit à celui où le fond est détruit dans les vases verticaux, et que ce cas a lieu lorsqu'on enleve la vanne qui fermoit le canal horizontal à son extrémité: il tombe alors toute l'eau que soutenoit la vanne, et cette eau tombe librement; mais cette vanne ne soutient qu'un poids égal à un volume d'eau qui auroit la vanne pour base et pour hauteur la moitié de celle de la vanne. Ce cas est donc assimilé à celui d'un

vase vertical qui auroit un fond égal à la surface de la vanne et une hauteur égale aux $\frac{4}{9}$ de celle de la même vanne ; mais alors la dépense n'est que la moitié de celle que fournit l'ancienne théorie. La différence étoit si grande et il étoit si important d'avoir quelque chose de certain sur cet objet, que je consultai l'expérience ; elle justifia mes idées. La nouvelle édition de l'ouvrage de M. de Buat me fournira l'occasion d'entrer dans quelques détails sur cet article important.

Guglielmini, après avoir déterminé la vîtesse que doit avoir l'eau qui tombe librement à l'extrémité d'un canal horizontal, fut obligé de supposer que la vîtesse du fluide étoit exactement la même dans toutes les autres parties du même canal ; car autrement, la dépense auroit été plus grande à l'extrémité que par les autres sections supérieures, ce qui auroit été visiblement absurde : mais la supposition de Guglielmini étoit évidemment contraire à la raison et à l'expérience. Dans les canaux réguliers, la vîtesse diminue toujours depuis la surface jusqu'au fond (1) ; et ce n'est que dans le cas où l'eau rencontre des obstacles, qu'on a remarqué que la vîtesse étoit plus grande dans les parties les plus éloignées de la surface. Donc la vîtesse moyenne observée dans les canaux horizontaux est considérablement moindre que la vîtesse moyenne à l'orifice déduite de la théorie de Guglielmini ; donc la

(1) M. Mariotte, du Mouvement des eaux, part. II, pag. 197.

dépense déterminée par cet auteur à l'orifice est de beaucoup trop grande.

J'ai exclus de mes recherches tous les objets qui n'avoient pas quelque utilité ; et parmi ceux dont je me suis occupé, il s'en trouve qui n'ont pas été approfondis autant qu'ils le méritent : mais je reviendrai sur mon travail s'il est digne d'être encouragé.

TABLE
DES CHAPITRES
ET DES SECTIONS.

Troisieme

NOUVEAUX PRINCIPES D'HYDRAULIQUE.

CHAPITRE PREMIER.

Principes d'hydrostatique.

1. Les loix de l'hydrostatique sont si connues, si invariables, et si bien établies par l'expérience, que j'ai cru devoir supprimer les démonstrations qu'en donnent les méchaniciens. Ceux qui voudront les connoître ne pourront faire mieux que de les étudier dans M. d'Alembert, ou dans M. l'abbé Bossut.

2. *Premiere loi.* La surface de l'eau en repos est parallele à l'horizon.

3. *Seconde loi.* Les parties supérieures de l'eau pesent sur les inférieures; ou, comme s'expriment plusieurs physiciens, l'eau pese en elle-même ou sur elle-même.

Ce principe est vrai; on peut le démontrer par une multitude d'expériences: cependant celle qui a été employée par les physiciens ne peut servir à l'établir. Voici cette expérience telle que MM. Desaguliers, l'abbé Nollet, Côtes, Sigaud de la Fond, etc. la rapportent. Soit suspendu au bras d'une balance, un ballon vuide C (*figure* 2) qui puisse s'enfoncer entièrement dans le vase V, rempli d'eau, et qu'il y soit mis en équilibre au moyen d'un poids P; si on tourne ensuite le robinet R de maniere que le ballon se remplisse, l'équilibre ne subsistera plus, et il faudra, pour le rétablir, ajouter en P un poids égal à celui de l'eau entrée dans le ballon.

Les auteurs cités concluent de cette expérience que l'eau pese dans l'eau de la même maniere que dans l'air. Mais si cette conséquence étoit juste, il s'ensuivroit que, pour soutenir dans un puits un seau plein d'eau, il faudroit la même force que lorsque ce seau cesse d'être plongé dans le puits; car tout est égal dans les deux cas: or cela n'est point vrai.

L'explication de l'expérience citée dépend de cet autre principe, qu'un corps plongé dans l'eau perd un poids égal à celui du volume de fluide déplacé. Imaginons en effet à la place du ballon un pied cubique d'une matiere quelconque, de plomb par exemple, creusée de maniere que le vuide soit d'un demi-pied cubique. L'ouverture de ce nouveau vase étant fermée et placée sur la face inférieure, si on plonge le vase dans l'eau, il perdra de son poids une quantité égale au poids du fluide qu'il aura déplacé, c'est-à-dire environ 70 livres; mais si on ouvre le vase, et si on permet à l'eau de remplir le vuide qu'il y avoit, alors le volume du vase, au lieu d'être d'un pied cubique, ne sera réellement que d'un demi-pied. Comme il ne déplacera que la moitié du volume d'eau qu'il déplaçoit auparavant, il pesera plus dans l'eau de la quantité que pese un demi-pied cubique d'eau: il faudra donc, pour rétablir l'équilibre, augmenter d'autant le poids P. Ce ne sera pas à l'eau renfermée dans le vase que le poids ajouté fera équilibre, mais bien à celui que la masse même du vase ne perdra pas.

Le ballon de l'expérience de Desaguliers, etc. lorsqu'il n'est pas rempli d'eau, occupe dans le fluide où il est plongé un volume plus grand de toute sa capacité intérieure que celui qu'il a réellement; lorsqu'il est rempli, son volume devient exactement égal à celui de l'eau qu'il déplace: par conséquent, dans ce dernier état, ce qu'il perd de moins de son poids est égal au poids de l'eau qu'il renferme. Voilà pourquoi il faut augmenter de la même quantité le poids P.

4. *Troisieme loi.* La pression des parties supérieures qui se fait sur celles qui sont au-dessous s'exerce également de tous côtés

et suivant toutes les directions imaginables, latéralement, horizontalement, obliquement et perpendiculairement.

5. *Quatrieme loi.* Les fonds et les côtés du vaisseau sont pressés de la même maniere que le fluide qu'ils contiennent.

6. *Cinquieme loi.* Si un vaisseau incliné a même base et même hauteur qu'un vase perpendiculaire, les fonds de ces deux vases seront également pressés.

7. *Sixieme loi.* En général, la pression qu'éprouve le fond d'un vaisseau, quelle que soit sa figure, est toujours égale au poids d'une colonne d'eau dont la base est le fond du vaisseau, et dont la hauteur est la distance verticale de la surface supérieure de l'eau au fond de ce même vase.

8. *Septieme loi.* Les corps solides, qui ont une plus grande pesanteur spécifique que l'eau, s'enfoncent entièrement dans le fluide; mais ils y perdent une partie de leur poids égale à celle du volume d'eau qu'ils déplacent.

9. *Huitieme loi.* Les corps solides, qui ont une moindre pesanteur spécifique que l'eau, ne s'y enfoncent qu'en partie, et la partie de leur volume qui est submergée détermine le volume d'eau qui a le même poids que ces corps.



CHAPITRE SECOND.

Principes d'hydraulique.

SECTION I.

Loix des vîtesses de l'eau qui s'échappe d'un vase cylindrique ou prismatique droit, entretenu constamment plein, par une ouverture quelconque pratiquée au fond.

10. Soit ABCD (*figure* 3) un vase cylindrique ou prismatique droit entretenu constamment plein d'eau, et de maniere que la surface supérieure demeure toujours sensiblement horizontale, quelle que soit la grandeur de l'ouverture par laquelle le fluide s'échappe en I.

J'appellerai *fond absolu* la surface totale CEDF de la base. Je donnerai le nom d'*orifice* à l'ouverture I, dont le fond pourra être percé, et j'appellerai *fond réel* la différence entre la surface du fond absolu et celle de l'orifice.

11. Si le fond absolu n'étoit pas percé, il supporteroit un poids égal à celui de l'eau contenue dans le vase, et les tranches horizontales de ce fluide éprouveroient une pression égale à celle du poids de toutes les autres tranches supérieures.

Si au contraire le fond absolu étoit subitement anéanti, la pression seroit alors détruite; toutes les tranches obéiroient à la fois et également à la pesanteur: et en supposant qu'un corps grave parcourût, en tombant librement, 15 pieds dans une seconde, pendant le même temps l'eau qui étoit dans le vase, avant qu'elle obéît à la pesanteur, se seroit écoulée.

12. Il est évident qu'il ne sortira jamais une plus grande quantité d'eau du fond de ce vase que lorsque l'orifice sera égal au fond

absolu : en effet, ce fluide obéira alors librement et complètement à la pesanteur. On voit aussi qu'en faisant successivement l'orifice toujours plus petit par rapport au fond absolu, il s'échappera dans le même temps des quantités d'eau toujours moins considérables. Mais ce qui est bien digne de remarque, et dont il est aisé de sentir la raison, c'est que la vîtesse de l'eau qui sort va toujours en augmentant à mesure que l'orifice devient plus petit.

13. Nous supposons le lecteur instruit des loix du mouvement sur des plans inclinés. Il sait qu'en représentant par DF (*figure* 4) la force absolue de la pesanteur dont est animé un corps appuyé sur un plan incliné AC, cette force peut être décomposée en deux autres de même espece, c'est-à-dire accélératrices : l'une DE perpendiculaire au plan incliné, et qui est détruite ; l'autre EF dont l'effet a lieu dans la direction du plan incliné. Les deux forces DF et DE connues, la troisieme EF l'est aussi, puisqu'elle est égale à $\sqrt{DF^2 - DE^2}$ par la propriété du triangle rectangle.

14. Si, par exemple, la surface du fond réel est à celle du fond absolu :: 1 : 30, il est évident qu'alors le fond réel soutiendra un trentieme du poids de l'eau contenue dans le vase : mais comme toutes les parties de chaque tranche se meuvent de la même maniere, attendu que toutes les tranches sont égales et que la surface est toujours de niveau, le mouvement du fluide dans le vase sera le même que s'il tomboit librement par un orifice égal au fond absolu en obéissant à la pesanteur diminuée d'une maniere convenable.

Or si on imagine un plan incliné tel que sa largeur BC soit à sa longueur AC, comme le poids soutenu par le fond réel est au poids de toute l'eau contenue dans le vase, les forces DE DF seront dans le même rapport : mais la premiere est détruite par le plan incliné, ainsi EF exprimera la force accélératrice dont l'eau du vase sera animée, et ce fluide, en tombant librement le long du plan incliné, obéira à la pesanteur qui lui reste.

En prenant sur la hauteur du plan incliné une ligne AB égale à l'espace qu'un corps, en tombant librement, parcourt dans un temps donné, et en élevant du point B une perpendiculaire sur le plan incliné AC, AO indiquera l'espace que le corps auroit parcouru dans le même temps en tombant le long du plan incliné.

En représentant par OT ou AS le diametre des tranches, on voit aisément que le parallélogramme ASOT est égal à un autre qui auroit OT pour base et AI pour hauteur. Pareillement un cylindre, dont OT seroit le diametre de la base, seroit égal à un autre cylindre de même base, et dont AI exprimeroit la hauteur. Comme le diametre des tranches est le même, soit que l'eau tombe librement, soit qu'elle descende par le plan incliné, il est évident que les quantités d'eau écoulées dans le même temps par une chûte libre, ou le long du plan incliné, seront respectivement $:: AB : AI$. Or $AB : AI :: AB^2 : AO^2 :: AQ^2 : AP^2 :: DE^2 : EF^2$; par conséquent la quantité d'eau tombée librement sera à celle qui sera descendue par le plan incliné $:: DE^2 : EF^2$.

Dans l'exemple que nous avons pris, $DE : DF :: 1 : 30$: ainsi $EF^2 = DF^2 - DE^2 = 900 - 1 = 899$. En supposant AB de 15 pieds, on aura $15 : AI :: 900 : 899$: d'où on tire $AI = 14 \frac{177}{180}$ pieds, qui exprime la hauteur dont chaque tranche sera descendue dans le cylindre dans une seconde. Mais puisque cette quantité d'eau est passée dans le même temps par l'orifice, que l'orifice est égal aux $\frac{29}{30}$ du fond absolu, et que les hauteurs des deux cylindres égaux sont réciproquement comme leurs bases; pour avoir la hauteur du cylindre qui aura passé par l'orifice, il faudra multiplier $14 \frac{177}{180}$ par $\frac{30}{29}$, et on aura $15 \frac{1}{2}$ pieds pour cette hauteur.

15. Mais il convient d'exprimer d'une maniere générale la quantité d'eau fournie par un vase cylindrique ou prismatique entretenu toujours plein, dès que le rapport de l'orifice au fond absolu sera donné.

Nommant b la largeur PQ d'un plan incliné et y sa longueur;

AQ $\frac{b}{7}$ exprimera le rapport du fond réel au fond absolu. Soit a la hauteur d'un cylindre d'eau qui se sera écoulé en tombant librement dans un temps connu, AI, que nous nommerons x, sera la hauteur d'un cylindre d'eau de même base qui sera descendu dans le même temps le long du plan incliné. Mais on a AB : AI :: DF² : EF² :: AQ² : AP²; donc $a : x :: y^2 : y^2 - b^2$; ce qui donne l'équation $ay^2 - xy^2 = ab^2$ à l'hyperbole cubique. Si on tire à angle droit deux lignes AS, AB (*figure* 5); si on prend $AB = a$, $Bc = b$, $BI = x$, $AI = a - x$; et si, à chaque point auquel aboutit la variable x, on éleve des perpendiculaires $IC = y$ de telle grandeur qu'on ait toujours la proportion $a - x : a :: b^2 : y^2$, la courbe, qui passera par l'extrémité C des ordonnées y, et qui est représentée par l'équation $ay^2 - xy^2 = ab^2$, déterminera toutes les circonstances du mouvement de l'eau dans les suppositions que nous avons faites.

Lorsque $y = b$, l'orifice devient nul, et par conséquent $a = 0$: y croissant par rapport à b, x augmente aussi: donc il faut que y devienne infini pour que x devienne égal à a.

16. x représente la hauteur du cylindre d'eau écoulé qui a pour base le fond absolu. Mais comme cette même quantité d'eau sort dans le même temps par l'orifice; pour avoir la hauteur du cylindre d'eau écoulé par cet orifice, il faudra augmenter x dans le rapport que le fond absolu est plus grand que l'orifice: or y représente le fond absolu, et $y - b$ l'orifice; donc $x \times \frac{y}{y-b}$ représentera la hauteur du cylindre d'eau écoulé par l'orifice dans le même temps qu'un corps emploieroit à tomber librement de la hauteur a. Appellant v cette hauteur, on aura $v = \frac{xy}{x-b}$, d'où on tire $x = \frac{vy - bv}{y}$; mais la valeur de x, tirée de l'équation $ay^2 - xy^2 = ab^2$, est $\frac{ay^2 - ab^2}{y^2}$. En mettant en équation les deux valeurs de x, on aura $\frac{vy - bv}{y} = \frac{ay^2 - ab^2}{y^2}$; $vy^2 - bvy = ay^2 - ab^2$; $v = \frac{ay^2 - ab^2}{y^2 - by}$; et en divisant les deux termes du second membre de la derniere

équation par $y - b$, on aura finalement $v = \frac{ay + ab}{y} = a + \frac{ab}{y}$.

17. On voit que v va en augmentant à mesure que y diminue par rapport à b, ou bien à mesure que l'orifice devient plus petit; et lorsque y est sur le point d'être égal à b, ou que l'orifice est infiniment petit, v devient sensiblement $= a + \frac{ab}{b} = a + a = 2a$.

Personne n'avoit encore déduit de la combinaison du troisieme principe d'hydrostatique et des loix ordinaires du mouvement données par Galilée, les circonstances des vîtesses de l'eau qui s'échappe par un orifice quelconque formé au fond d'un vase cylindrique ou prismatique droit entretenu constamment plein. La justesse de cette solution est confirmée par l'expérience dans les cas extrêmes; et en ne la regardant que comme une simple hypothese physique, elle a au moins le mérite d'indiquer avec quelque clarté l'ordre des effets qui ont lieu selon que l'orifice est plus ou moins grand par rapport au fond.

18. En faisant $a = 15$ pieds, et par conséquent le temps de la chûte libre d'une seconde, si le rapport de DE à DF, ou celui du fond réel au fond absolu, est exprimé successivement par . . . .

. . . .	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{9}{10}$	$\frac{19}{20}$	$\frac{29}{30}$	etc.
le rapport de l'orifice au fond absolu sera	$\frac{29}{30}$	$\frac{9}{10}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{30}$	etc.
La quantité d'eau qui sortira en même temps par l'orifice, sera représentée respectivement par un cylindre qui auroit pour base le fond absolu du vase, et pour hauteur en pieds	$14\frac{177}{180}$	$14\frac{17}{20}$	$14\frac{1}{16}$	$13\frac{1}{3}$	$11\frac{1}{4}$	$6\frac{9}{16}$	$2\frac{17}{20}$	$1\frac{37}{80}$	$\frac{177}{180}$	etc.
et la hauteur du cylindre qui auroit pour base l'orifice, sera représentée successivement aussi en pieds par	$15\frac{1}{2}$	$16\frac{1}{2}$	$18\frac{3}{4}$	20	$22\frac{1}{2}$	$26\frac{1}{4}$	$28\frac{1}{2}$	$29\frac{1}{4}$	$29\frac{1}{2}$	etc.

On

On voit ainsi combien se sont trompés les auteurs d'hydraulique qui ont supposé, pour déterminer la vitesse de l'eau qui sort par un orifice quelconque formé au fond d'un vase entretenu constamment plein, que l'eau qui répondoit à l'orifice étoit toujours pressée par le poids entier de la colonne supérieure. Cela n'a lieu que lorsque l'orifice est infiniment petit; et ce n'est que dans ce cas qu'on peut regarder l'eau, dans l'instant où elle s'échappe par l'orifice, comme animée d'une vitesse égale à celle qu'elle auroit acquise en tombant de la hauteur du vase.

SECTION II.

REMARQUE I.

Théorie de Newton.

Tout le monde connoît la maniere dont Newton a résolu ce problême. Il est certain que l'expérience ne justifie pas les idées de ce grand homme sur la formation de sa cataracte: mais les résultats que sa solution fournit sont cependant très dignes d'attention. Appellant a la hauteur du vase, y le fond absolu, b le fond réel, $y - b$ l'orifice, il trouve (1) que, dans le temps qu'un grave tomberoit librement de la hauteur a, il sortiroit par l'orifice une colonne d'eau qui auroit pour base cet orifice contracté, et pour hauteur $v = 2a \times \frac{y}{y + y - b} = \frac{2ay}{2y - b}$. Or dans cette formule, en supposant l'orifice égal au fond absolu, le fond réel devient o: ainsi $b = 0$ et $v = \frac{2ay}{2y} = a$; ce qui est le cas où l'eau tombe librement. Lorsque l'orifice est infiniment petit, $b = y$: donc $v = \frac{2ay}{2y - y} = 2a$; ce qui est conforme à l'expérience.

La solution de Newton donne des résultats semblables aux miens dans les deux cas extrêmes, mais qui en different un peu dans les

(1) Philos. nat. princip. math. tom. II. pag. 292, 293.

autres cas, ainsi qu'on pourra le voir en comparant la formule de Newton avec celle du n°. 18.

Dans la solution des problêmes, c'est en employant des principes connus qu'on parvient à des connoissances qu'on ignoroit. Mais il ne paroît pas que cette marche soit celle que Newton a suivie dans la question présente: les résultats extrêmes de sa solution sont conformes à l'expérience, et ils étoient connus de tous les physiciens, au lieu que l'hypothese sur laquelle il a établi ses calculs n'est point étayée sur l'observation. Ainsi, on peut affirmer que c'est la solution déja connue de ces extrêmes du problême qui a conduit Newton à l'hypothese qu'il a employée. Cette hypothese ne doit pas être adoptée sans doute: mais comme elle part de la vérité et qu'elle y arrive, comme elle la suit dans sa route sans s'en écarter jamais beaucoup, enfin comme elle doit naissance au génie le plus pénétrant qui ait jamais existé, elle ne peut que contribuer à donner de la stabilité à la théorie que j'ai établie, laquelle présente des résultats qui se succedent dans le même ordre, et est d'ailleurs fondée sur les principes les plus ordinaires de la méchanique.

REMARQUE II.

Des théories de MM. Mac-Laurin, Bernoulli, etc.

19. MM. Mac-Laurin, Daniel Bernoulli, Jean Bernoulli, Euler, d'Alembert, etc. ont donné des solutions du problême que nous venons de résoudre; mais aucun de ces célebres géometres ne les a déduites, comme nous, des principes les plus simples et les plus connus de la méchanique. On peut lire au chap. III du liv. II du Traité des fluides de M. d'Alembert ses remarques sur le défaut de clarté des principes employés par MM. Jean Bernoulli et Mac-Laurin. M. l'abbé Bossut, en parlant des travaux de MM. d'Alembert et Euler, s'exprime ainsi: « Ces deux illustres géometres « semblent avoir épuisé toutes les ressources qu'on peut tirer de

« l'analyse pour déterminer les mouvements des fluides. Malheu-
« reusement leurs formules sont si composées par la nature de la
« chose, qu'on ne peut les regarder que comme des vérités géo-
« métriques très précieuses en elles-mêmes, et non comme des
« symboles propres à peindre l'image du mouvement actuel et phy-
« sique d'un fluide ». *Hydrodyn. Préface, pag.* XVI.

Je dois ajouter que la complication de ces formules a contribué même à infirmer, au jugement de plusieurs géometres très distingués, la solidité des principes sur lesquels elles étoient fondées. Le P. Frisi, au chap. I du second livre de son Traité des fluides, ne balance pas à dire qu'il est impossible de représenter par l'analyse le mouvement des fluides. En parlant de la vîtesse de l'eau qui sort par une petite ouverture d'un vase entretenu constamment plein, laquelle est comme la racine de la hauteur, il ajoute que cette proposition n'est qu'une vérité d'expérience, et qu'elle n'a été démontrée par personne.

Il n'est pas douteux que ce fameux théorême de Toricelli ne soit mal démontré dans les livres ordinaires d'hydraulique; mais comme on le déduit immédiatement des théories de MM. Mac-Laurin, etc. la conformité de leurs résultats avec l'expérience est un préjugé avantageux en faveur de ces théories. Cependant je ne dois pas dissimuler que pour les admettre, il ne suffit pas qu'elles soient conformes à l'expérience dans un cas particulier. Or les comparaisons nécessaires pour constater leur exactitude, dans des circonstances où l'orifice ne peut être regardé comme infiniment petit, n'ont pas été faites; elles n'ont pas même guere pu l'être par la complication des formules qui représentent ces théories.

Pour juger de la confiance que méritent les théories des géometres célebres que j'ai cités, il n'est pas nécessaire de les examiner toutes; il suffit de s'attacher à celle de M. Jean Bernoulli, et on doit la préférer à cause de la facilité qu'elle offre de comparer quelques uns de ses résultats à l'expérience. D'ailleurs cette théorie

s'accordant avec les autres (1); en la jugeant, on prononce sur celles-ci.

M. Bernoulli suppose qu'on ait deux cylindres AGDE, GBCF (*figure* 6), de diametre inégal, joints l'un à l'autre, remplis d'un fluide homogene et sans pesanteur, et qu'un piston appliqué en AE presse également le fluide sur toute l'étendue de la tranche AE. Cet auteur réduit ainsi la somme des poids de toutes les tranches d'eau à une seule force qui agiroit à la surface du fluide. Il fait le fond du grand cylindre GE $= h$; le fond du petit cylindre GC $= m$; il appelle v la vîtesse du fluide dans le cylindre GC; a la longueur GA du grand cylindre; g la pesanteur; il parvient à l'équation $gha = \frac{h^2 - m^2}{2h} v^2$; et en appellant z la hauteur d'où un corps devroit tomber pour acquérir la vîtesse v, il a $z = \frac{h^2}{h^2 - m^2} a$: d'où il déduit ce théorême :

Soit AGFE (*figure* 7) un vase cylindrique élevé verticalement, au fond duquel on ait adapté un tuyau cylindrique horizontal FB ouvert des deux côtés; imaginons que le vase et le tuyau soient remplis d'eau, et qu'on remplace dans le premier à chaque instant la quantité de fluide qui s'échappe par l'orifice BC, la vîtesse de l'eau qui sort par l'orifice deviendra en très peu de temps égale à celle qu'un corps grave acquerroit en tombant librement d'une hauteur égale à $\frac{h^2}{h^2 - m^2} a$.

Comme h représente le fond du cylindre, et m la grandeur de l'orifice, il est évident que lorsque l'orifice est infiniment petit, l'équation $z = \frac{h^2}{h^2 - m^2} a$ devient $z = \frac{h^2}{h^2} a = a$; c'est-à-dire que la

(1) On ne peut disconvenir que la théorie de M. Jean Bernoulli ne soit ingénieuse, et les résultats qu'elle donne s'accordent d'ailleurs parfaitement avec ceux qui se tirent de nos principes.... Toutes ces difficultés, je l'avoue, n'attaquent point le fond des principes de M. Bernoulli; on ne peut douter qu'ils ne soient très vrais, puisqu'ils l'ont conduit à la véritable solution du problême qu'il cherchoit. *Traité des fluides de M. d'Alembert*, *pag.* 175, 179.

vitesse de l'eau qui sort par l'orifice CB est égale à celle qu'acquerroit un corps en tombant librement de la hauteur EF.

Notre théorie s'accorde avec celle de M. Bernoulli lorsqu'on suppose l'orifice infiniment petit; mais il est aisé de voir que dans tous les autres cas les résultats sont différents. Il n'est pas besoin d'examiner en détail les principes de M. Bernoulli pour s'assurer qu'ils ne sont pas vrais; il suffit de s'arrêter à la formule $z = \frac{k^2}{k^2 - m^2} a$; elle annonce que le fond du cylindre GE restant constant, et l'orifice GE augmentant, la vitesse de l'eau qui sort par l'orifice augmente aussi. Or cela est absolument contraire à l'expérience. En effet, les jets d'eau ne s'élevent jamais à une hauteur plus approchante de celle d'un réservoir entretenu constamment plein, abstraction faite de la résistance de l'air, que lorsque l'orifice est plus petit par rapport au fond; et il est constant que la hauteur des jets diminue à mesure qu'on rend l'orifice plus grand par rapport au fond du réservoir. La théorie de M. Bernoulli annonce précisément le contraire; et si elle étoit vraie, non seulement les jets s'éleveroient davantage à mesure qu'on rendroit l'orifice BC plus grand, mais leur hauteur surpasseroit toujours plus celle du réservoir; car l'eau, en sortant par l'orifice, seroit animée d'une vitesse toujours plus grande et égale à celle qui seroit acquise par la chûte libre de la hauteur $\frac{k^2}{k^2 - m^2} a$, qui devient toujours plus grande que la hauteur a.

Remarque III.

20. Le plus grand nombre des auteurs qui ont écrit sur l'hydraulique a supposé que l'eau qui sortoit d'un vase cylindrique entretenu toujours plein, ne passoit pas brusquement de la vitesse qu'ont les tranches dans le vase, à celle dont le fluide est animé en sortant par l'orifice. Voici une expérience qui prouve bien clairement que l'eau ne perd réellement une vitesse différente de celles des tranches que lorsqu'elle arrive pour ainsi dire à l'orifice. Je plongeois dans un vase cylindrique entretenu toujours plein, et percé au fond

d'un orifice, un tuyau cylindrique de même diametre que l'orifice, et ouvert par les deux bouts. L'eau s'y élevoit et s'y soutenoit à la hauteur qu'elle avoit dans le vase, quoique j'approchasse le tuyau très près de l'orifice, pourvu qu'alors il ne répondît pas verticalement au-dessus : car, dans ce cas, je supprimois une communication suffisante de l'eau renfermée dans le tuyau avec celle du vase; et celle-là, n'étant plus soutenue par la pression de celle-ci, tomboit par son propre poids.

Il est certain cependant qu'à l'orifice même toutes les particules d'eau n'ont pas la même vîtesse: mais ces inégalités ne sont pas susceptibles d'être déterminées avec quelque exactitude.

Remarque IV.

21. Si on plonge dans le vase du § 15 un cylindre d'un moindre diametre que ce vase, de maniere que dans un temps donné le volume d'eau qu'il déplacera soit plus grand, ou égal, ou moindre, que celui que la pesanteur peut chasser du vase dans le même temps, le niveau de l'eau s'élevera, ou se soutiendra à la même hauteur, ou s'abaissera dans le vase.

On conçoit aisément qu'un volume d'eau qu'on verseroit dans le vase y produiroit le même effet que le corps cylindrique dont nous venons de parler.

Rigoureusement parlant, l'eau qui descend dans un vase entretenu toujours plein ne sauroit parvenir à l'uniformité, parceque la tranche la plus élevée n'a d'abord point de vîtesse, et parcequ'elle tend à s'accélérer. Cependant on voit que plus l'orifice est petit par rapport au fond, plus est petite la hauteur dont s'abaisse la tranche la plus élevée, dans le temps qu'un grave emploieroit à tomber librement de la hauteur du vase. Or, de même qu'on se permet de supposer dans un temps infiniment petit que l'espace parcouru par un corps animé d'une force accélératrice est uniforme, on pourra pareillement supposer dans un temps déterminé, lorsque la force accélératrice est peu considérable, que l'espace parcouru

est uniforme. Ainsi, tant que l'orifice sera fort petit par rapport au fond, le mouvement de l'eau dans le vase pourra être regardé comme uniforme, et le niveau du fluide se soutiendra à la même élévation si on verse dans le vase un volume d'eau égal à celui que la pesanteur peut faire sortir.

Mais à mesure que l'orifice devient plus grand par rapport au fond, l'accélération dans le même temps est plus sensible, et elle est la plus grande lorsque l'orifice est égal au fond absolu. Il est évident qu'alors le mouvement de l'eau ne pourroit être uniforme dans le vase qu'autant que la vîtesse de l'eau qui le rempliroit continuellement seroit infinie par rapport à celle que peut produire la pesanteur. Mais il n'est pas question de déterminer la dépense d'un vase, dans la supposition que le mouvement de l'eau y devînt uniforme, mais la dépense qu'il peut fournir, en supposant que la tranche la plus élevée n'eût d'abord point de vîtesse.

Tous les auteurs qui ont considéré le mouvement de l'eau à l'orifice d'un vase comme produit par la pression de la colonne qui étoit au-dessus, ont été fort étonnés de voir que, lorsqu'un vase se vuidoit, la vîtesse de l'eau n'étoit pas la plus grande quand le fluide avoit la plus grande hauteur dans le vase. Avec nos principes on détermine aisément le terme auquel l'eau doit s'abaisser dans le vase pour que la vîtesse à l'orifice soit la plus grande. Ce terme est d'autant plus bas pour des vases de même hauteur, que l'orifice est plus grand par rapport au fond.

Remarque V.

22. On observe que la surface de l'eau dans le vase est sensiblement horizontale, tant que l'orifice est fort petit et que l'eau est assez élevée dans le vase; mais si l'orifice est fort grand par rapport au fond absolu, ou si, étant petit, l'eau est peu élevée dans le vase, il se forme alors une espece d'entonnoir creux dont la pointe répond à l'orifice, et qui est d'autant plus évasé, que l'orifice est plus grand, et que la hauteur de l'eau dans le vase est

moindre. Il est évident qu'alors le troisieme principe d'hydrostatique n'a point lieu complètement. L'existence de l'entonnoir prouve que l'eau qui répond à l'orifice a plus de facilité à tomber librement que l'eau environnante n'en a pour la remplacer. Cette difficulté est encore augmentée, lorsque l'eau est peu élevée dans le vase, par la résistance que produit l'adhérence de l'eau avec le fond : mais puisque l'eau n'a pas par-tout la même élévation sur le fond, toutes les parties de chaque tranche ne seront pas également pressées ; et comme c'est vers les bords que l'eau a la plus grande élévation, il est clair qu'on ne doit pas se servir de cette hauteur pour déterminer la vitesse de l'eau. Je crois impossible d'avoir exactement la vitesse des diverses parties de chaque tranche dès qu'il se forme un entonnoir à la surface. Je me borne à remarquer que la vitesse de l'orifice ne sera jamais aussi grande que celle qui auroit lieu, si l'eau à la surface du vase restoit horizontale, et qu'elle eût par-tout sur le fond la hauteur qu'elle a vers les bords du vase.

REMARQUE VI.

23. INDÉPENDAMMENT du creux qui se forme vis-à-vis de l'orifice, il y a une autre cause qui peut contribuer beaucoup à altérer la vitesse de l'eau dans les diverses parties de chaque tranche, et à rendre encore fort inégale la surface de l'eau dans le vase. Cette cause naît des moyens qu'on emploie pour remplacer l'eau qui s'échappe par l'orifice, afin que le vase reste constamment plein.

Si, à mesure qu'une tranche de fluide s'abaisse dans le vase, on pouvoit en substituer une autre de même épaisseur et qui eût la même vitesse, il est évident qu'alors l'eau additionnelle ne troubleroit pas la vitesse des tranches inférieures, et n'altéreroit pas le niveau de la surface. Mais il n'y a point de moyen physique pour renouveller l'eau aussi régulièrement ; quelque précaution qu'on prenne, la surface du vase n'est jamais parfaitement de niveau. Je dois observer qu'à mesure qu'on emploie un courant plus rapide, on doit être attentif à le diriger plus horizontalement : il produira, il

il est vrai, encore alors des mouvements tourbillonnaires; mais ces mouvements n'altéreront pas sensiblement la vîtesse produite par la pression, au lieu que si le courant tomboit verticalement dans le vase, il pourroit de cette maniere contribuer à augmenter la vîtesse de l'eau qui sortiroit de l'orifice.

On peut se convaincre aisément qu'en connoissant le rapport de l'orifice au fond absolu, et qu'en supposant la hauteur de l'eau constante dans un vase, la vîtesse à l'orifice n'est pas pour cela déterminée; elle peut varier à l'infini selon la vîtesse et la direction de l'eau affluente.

Soit AB (*figure* 8) un filet d'eau animé de telle vîtesse qu'on voudra, et dont le diametre soit précisément égal à celui de l'orifice O formé au fond d'un vase MN; il est évident que s'il n'y a point d'eau dans le vase, et si l'orifice se trouve dans la direction du filet d'eau, ce filet passera en entier par cet orifice : mais en supposant de l'eau dans le vase jusqu'à une certaine hauteur, il n'est pas douteux que le filet AB ne s'échappe par l'orifice O à-peu-près de la même maniere que s'il n'y avoit point d'eau dans le vase. Il y a des auteurs célebres qui pensent que l'eau coule dans l'eau avec la même facilité que dans l'air. Je suis fort éloigné d'adopter cette opinion; mais il n'est pas nécessaire qu'elle soit vraie pour concevoir comment le filet AB remplira continuellement l'orifice, empêchera l'eau du vase de couler, et la forcera par conséquent à se soutenir à la même hauteur. En effet, si la vîtesse du filet AB s'affoiblit en passant dans l'eau du vase, son diametre augmentera. Or il est aisé d'imaginer un filet plus petit que l'orifice avant qu'il rencontre l'eau du vase, et qui soit tel que la résistance produite par l'eau du vase rende son diametre précisément égal à celui de l'orifice. On voit clairement alors que, quelle que soit la vîtesse du filet, pourvu qu'en parvenant à l'orifice elle ne soit pas moindre que celle que peut produire la hauteur de l'eau dans le vase, cette eau restera toujours à la même élévation.

REMARQUE VII.

24. Si on jette dans un vase entretenu toujours plein, et percé au fond d'un petit orifice, des matieres réduites à un petit volume, et qui aient une pesanteur spécifique un peu plus considérable que l'eau, on observera que ces petits corps descendront d'abord verticalement; mais lorsqu'ils ne seront plus éloignés du fond que de quelques pouces, ils se dirigeront vers l'orifice, et indiqueront ainsi le changement de direction qu'éprouve l'eau avant de parvenir à l'orifice.

C'est à cette tendance de tous les filets d'eau vers l'orifice qu'on doit attribuer principalement la contraction qu'éprouve la veine fluide à la sortie du vase, lorsque l'orifice est percé dans une mince paroi. L'aire de la section de cette veine mesurée, lorsqu'elle cesse de se resserrer (ce qui a lieu lorsqu'elle est distante du fond du vase d'une quantité à-peu-près égale au rayon de l'orifice); l'aire, dis-je, de cette section est assez exactement les $\frac{2}{3}$ de l'aire de l'orifice, et la quantité d'eau qui s'écoule dans un temps donné par cette veine contractée n'est que les $\frac{5}{8}$ de celle qui se seroit écoulée si la contraction n'avoit pas eu lieu.

Les résultats que je viens de présenter sont pris de M. Bossut, qui les a déterminés par des expériences faites avec beaucoup de soin (1). On doit sans doute les adopter; mais je dois avertir qu'ils ne peuvent être exacts que lorsqu'il est question de petits orifices. Il est aisé de voir qu'à mesure que le diametre de l'orifice augmente relativement au fond, la contraction doit être moindre, en

(1) Comme la fraction $\frac{5}{8}$ représente le rapport de la dépense réelle à la dépense théorique, il semble qu'on devroit conclure que le rapport de la veine contractée à l'orifice est aussi exprimé par la même fraction : cependant la veine contractée doit être un peu plus grande, par rapport à l'orifice, qu'il n'est marqué par la fraction $\frac{5}{8}$, parceque l'eau qui sort, même par un petit orifice, n'a jamais toute la vitesse que peut produire la hauteur de l'eau dans le vase.

supposant, comme on n'en peut douter, que cette contraction doive son existence à la direction oblique des filets d'eau lorsqu'ils deviennent voisins de l'orifice : or, si l'orifice est égal au fond absolu, les filets n'éprouveront aucune direction oblique, et par conséquent il ne sauroit y avoir de contraction. On voit aisément qu'à mesure que le fond réel devient plus grand par rapport au fond absolu, le nombre des filets dirigés obliquement augmente aussi. Leur effet, qui n'est autre chose que la contraction, doit augmenter pareillement. Il est constant que, sous même hauteur du réservoir, les grands orifices donnent davantage que les petits. Cela prouve bien clairement que, dans le premier cas, la contraction devient moindre. On connoît ainsi des limites de cet effet; mais je ne pense pas qu'il soit possible de déterminer rigoureusement la loi selon laquelle il croît.

25. On doit compter pour rien le frottement que peut éprouver l'eau contre les parois de l'orifice; car l'eau qui coule ne touche point les parois. En effet, il est certain que lorsque l'orifice est petit, la veine contractée prend sensiblement la vîtesse que peut produire la hauteur de l'eau dans le vase. L'expérience des jets d'eau démontre cela parfaitement. Ainsi on doit regarder la veine contractée comme environnée à l'orifice d'une couronne d'eau qui n'a point de mouvement, et ce n'est que contre la surface intérieure de cette couronne que la veine contractée peut frotter.

Soit AB (*figure* 9) le diametre de l'orifice; CD = IO le diametre de la veine qui sort; et le rapport de AB à CD, tel que la surface de l'orifice soit à la surface de la veine contractée :: 3 : 2. Il est évident d'abord que la veine en CD n'est pas la veine entiere qui répond à l'orifice, réduite; car si cela étoit, il faudroit que l'eau dans le petit espace IG se fût accélérée assez pour que la section, qui étoit d'abord représentée par 3, fût réduite à 2 : or cela est impossible. D'ailleurs la contraction de la veine a lieu dans les jets d'eau; ainsi on ne doit pas l'attribuer à aucune accélération.

26. La contraction ne doit pas être regardée non plus comme

l'effet du frottement; car si, au lieu de percer l'orifice dans une mince paroi, on adapte au fond un tuyau de même diametre que l'orifice, et qui ait pourtant peu de longueur, on observera qu'il sortira une plus grande quantité d'eau que dans le cas précédent. Si, par des essais, on détermine la longueur du tuyau qui, dans un temps donné, occasionne l'écoulement d'une plus grande quantité d'eau, on remarquera que même alors il s'en écoulera moins que si, conformément à la théorie, il sortoit par l'orifice entier un filet d'eau avec la vîtesse produite par la hauteur du réservoir. Or il n'est pas douteux que l'eau, en suivant dans un certain espace les parois du tuyau, n'éprouve bien plus de frottement que lorsqu'elle passe seulement par un orifice percé dans une mince paroi. Ainsi le frottement, loin d'être désavantageux, produiroit un effet contraire. La contraction ne doit donc pas être attribuée au frottement.

27. L'effet des tuyaux additionnels est borné à rendre la contraction de la veine fluide, dans le point où elle sort du vase, moins considérable que lorsqu'elle sort par un orifice percé dans une mince paroi: mais la contraction subsiste toujours en partie à l'entrée des tuyaux additionnels, et elle diminue d'une maniere sensible la quantité d'eau qu'ils devroient donner naturellement.

M. l'abbé Bossut a conclu d'un grand nombre d'expériences, que, dans un vase entretenu constamment plein, l'orifice de sortie étant le même, et fort petit relativement au fond, la dépense naturelle ou théorique, la dépense par un tuyau additionnel, la dépense par un orifice percé dans une mince paroi, sont entre elles, à peu de chose près, comme les trois nombres 16. 13. 10.

28. M. Mariotte a, je crois, remarqué le premier qu'en substituant des tuyaux additionnels à des orifices percés dans de minces parois au fond d'un vase entretenu constamment plein, on augmentoit jusqu'à un certain point l'écoulement de l'eau dans le même temps: mais cet auteur s'est trompé lorsqu'il a prétendu que l'eau comprise dans le tuyau étoit plus accélérée, et qu'à cause de

l'engrenage ou de l'adhérence de ses parties, elle communiquoit la même accélération aux parties supérieures. Quoique cette explication ait été adoptée par Desaguliers, et par plusieurs autres auteurs célebres (1), elle doit être pourtant rejettée.

Si le tuyau additionnel fournit une plus grande quantité d'eau, cela vient de ce que la contraction de la veine à l'orifice percé dans le fond devient par cet artifice moins considérable, et non pas que l'eau qui sort prenne une plus grande vîtesse, de maniere qu'à la sortie du tuyau additionnel elle puisse être regardée comme produite par la hauteur de l'eau au-dessus de l'orifice le plus bas de ce tuyau.

29. Puisqu'on suppose que l'eau sort à gueule bée, il est certain que la tranche la plus basse n'a pas plus de vîtesse que toutes les autres qui sont comprises dans le tuyau additionnel. Or si l'eau a la même vîtesse dans le tuyau, cette vîtesse ne peut être produite que par la pression des eaux supérieures à l'orifice percé dans le fond du vase.

30. On trouve l'explication de l'effet que produisent les tuyaux additionnels, lorsqu'on réfléchit sur l'adhérence que l'eau peut contracter avec les corps polis qu'on lui présente, et lorsqu'on connoît l'état où se trouve l'eau la plus voisine des parois de l'orifice.

Si on met le plat de la main, ou quelque autre corps poli, sur la direction d'un filet d'eau qui s'écoule par un tuyau, de maniere que le contact seulement ait lieu, et si ensuite on change la position de la main ou de ce corps poli, on parviendra à écarter assez considérablement de la premiere direction le filet d'eau s'il est petit, ou une partie de ce filet si son volume est considérable. Cet effet ne peut pas être attribué à l'air; il a lieu sous le récipient d'une machine pneumatique, et il résulte de l'adhérence que l'eau contracte avec le corps poli qu'on en a approché.

31. Lorsque l'écoulement se fait par un petit orifice percé dans

---

(1) M. Bossut, Hydrodyn. part. II. chap. IV. n°. 385.

une mince paroi, la contraction de la veine a lieu; et l'eau coule pourtant, à très peu près, avec la vîtesse que la hauteur du réservoir peut produire, comme le démontrent les jets d'eau. Il ne sort donc de l'orifice qu'une veine égale à celle qu'on regarde comme contractée. Il n'est pas douteux que la couronne d'eau qui reste ne soit pressée de tout le poids de la colonne supérieure; et si elle ne coule pas, cela ne peut venir que de ce que la direction de son mouvement n'est pas dans le sens de l'orifice. L'existence de cet effet est indubitable, et on entrevoit les causes qui peuvent le produire.

32. On observe que tous les filets d'eau, considérés à quelques pouces du fond, convergent vers l'orifice. Chacun d'eux peut être regardé comme obéissant à une force susceptible d'être décomposée en deux autres, l'une perpendiculaire au fond, et l'autre parallele à ce même fond. Dans l'instant où tous les filets arrivent à l'orifice, ils obéissent encore à ces deux forces. L'eau qui coule peut être regardée comme le résultat de l'action des forces qui sont exercées de haut en bas; les autres forces paralleles au fond, devant avoir leur effet, presseront dans cette direction la portion d'eau restante.

L'espece de doucine qu'on observe depuis l'orifice jusqu'à l'endroit qui indique le plus petit diametre de la veine contractée est produite par l'adhérence de l'eau qui coule, laquelle entraîne avec elle les particules de ce fluide les plus voisines de I et O: ainsi la contraction n'est qu'apparente; et sans l'adhérence dont je viens de parler, la veine fluide, en sortant par un orifice percé dans une mince paroi, n'auroit, en sortant même de cet orifice, que le diametre qu'elle a un peu au-dessous.

33. En adaptant à l'orifice un tuyau cylindrique peu alongé, bien poli intérieurement, et en le bouchant d'abord, il se remplira entièrement d'eau. Si on rend ensuite l'écoulement libre, l'eau qui s'étoit attachée aux parois, communiquant avec la partie de ce fluide dirigée parallèlement au fond, la forcera de se fléchir et de se mouvoir selon la direction de ce tuyau.

Le tuyau additionnel procure de cette maniere un plus grand écoulement; mais il n'augmente pas la vîtesse de l'eau, et même on ne peut douter que les filets les plus voisins des parois du tuyau ne soient mus moins rapidement que ceux qui répondent au centre.

34. L'attraction que les parois des tuyaux additionnels peuvent exercer étant déterminée, il n'est pas douteux que plus les forces dont l'eau est animée parallèlement au fond seront considérables, ou plus la hauteur des réservoirs sera grande, plus il sera difficile de forcer l'eau à couler à gueule bée par des orifices verticaux. Aussi il est très aisé de détruire alors l'adhérence de l'eau avec les parois (1).

35. Ce qui est bien propre à établir les conjectures que je viens de former, c'est que les tuyaux additionnels cylindriques d'une petite longueur, adaptés dans toutes les directions obliques, et même verticalement, augmentent toujours l'écoulement. Rien n'est plus naturel que d'attribuer cet effet à la même cause. Or, dans les cas approchants de ce dernier, on ne sauroit attribuer l'accroissement de la dépense à une accélération quelconque. Il est même certain que les jets d'eau qui sortent par des tuyaux cylindriques s'élevent moins haut que ceux qui s'échappent par de minces parois. La vîtesse de l'eau est donc alors moindre : ce qui est parfaitement conforme à notre théorie. Je ferai connoître, à l'article des jets d'eau une cause qui concourt, avec l'augmentation de l'orifice, pour diminuer la vîtesse par les jets cylindriques.

36. Voici le résultat de plusieurs expériences qui s'expliquent parfaitement bien avec nos principes. 1°. Si, au lieu du tuyau cylindrique, on met un tuyau conique (2) tel que sa petite base soit

(1) J'ai éprouvé plusieurs fois qu'en frappant légèrement le tuyau avec une clef, l'eau se détachoit de ses parois, et ne faisoit plus que glisser sur son fond supérieur comme dans les écoulements par des orifices percés dans de minces parois. *M. Bossut, Hydrodyn. part. II. chap. IV. pag.* 63.

(2) M. Bossut, Hydrodyn. part. II. chap. IV. pag. 55 et suiv. Voyez aussi

adaptée au réservoir, il donnera plus d'eau que le tuyau cylindrique qui auroit un diametre égal à celui dont est percé le fond du vase. Cela vient de ce que, lorsqu'une fois l'eau qui environne la veine contractée, et qui touche l'orifice, peut adhérer aux parois du tuyau et les suivre, elle s'échappe avec liberté, et ne contribue plus à ralentir la vîtesse de l'eau qui étoit plus près du centre de l'orifice. 2°. En adaptant à un réservoir des tuyaux coniques tels que le grand orifice réponde au fond, et en faisant varier le diametre de ce grand orifice, on trouve que des tuyaux pareils, lorsque la différence entre les deux orifices n'est pas considérable, fournissent dans le même temps plus d'eau que des tuyaux cylindriques de même longueur dont le diametre est égal à celui de l'orifice conique inférieur. La plus grande dépense a lieu lorsque le rapport des orifices approche de celui de 2 à 3. Elle diminue ensuite par degrés, devient égale, et puis moindre que celle du tuyau cylindrique. On voit par-là que l'inclinaison des parois du tuyau conique n'est qu'un artifice au moyen duquel l'eau, qui venoit aboutir à l'orifice trop obliquement, y est dirigée. Mais à mesure que cette inclinaison devient plus grande, l'eau, en parvenant à l'orifice inférieur, y aboutit sous une direction plus oblique: ce qui tend à diminuer nécessairement la dépense. Enfin, lorsque l'évasement est complet, ou que la hauteur du cône devient nulle, la dépense est la plus petite possible.

37. On a vu (§ 27. § 36.) les artifices au moyen desquels on peut rendre plus considérable la dépense d'un vase entretenu constamment plein sans changer la grandeur de l'orifice. Mais soit qu'on emploie des tuyaux coniques ou des tuyaux cylindriques, ils doivent être toujours courts; sans cette attention, le frottement de l'eau contre les parois diminueroit sa vîtesse, et par conséquent la dépense du réservoir, ainsi que nous l'observerons dans la suite, (§ 69). D'ailleurs on ne doit pas se flatter de pouvoir établir des

---

le traité *de Castellis* de Poleni dans le recueil des auteurs italiens.

regles

regles sûres pour déterminer les écoulements par des tuyaux cylindriques ou coniques déterminés, parcequ'on ne sauroit connoître les loix selon lesquelles les parois de ces tuyaux influent pour produire l'inflexion des particules d'eau les plus voisines de l'orifice supérieur.

38. Les loix des écoulements ne peuvent être employées avec quelque confiance que lorsque l'eau s'échappe par des orifices percés dans de minces parois; mais, dans ce cas-là même, leur exactitude peut être altérée essentiellement, si, comme on n'en peut douter (§ 24), la contraction de la veine diminue à mesure que l'orifice devient plus grand par rapport au fond absolu. On sait que lorsque l'orifice est fort petit, la veine contractée en est les $\frac{5}{8}$, et que, lorsque l'orifice est égal au fond absolu, la contraction disparoît: mais on ignore la loi que suit cet effet.

39. Les meilleurs auteurs qui aient écrit sur l'hydraulique prescrivent, quel que soit le rapport de l'orifice au fond absolu, de considérer la veine fluide comme les $\frac{5}{8}$ de l'orifice. Il n'est pas douteux que cette contraction ne soit supposée trop grande lorsque l'orifice n'est, par exemple, que le $\frac{1}{10}$ du fond absolu; mais comme ces auteurs supposent, même dans ce cas, que l'eau en sortant par l'orifice est animée d'une vîtesse égale à celle qu'elle auroit acquise en tombant de la hauteur du vase, cela fait une espece de compensation. Ils diminuent bien la grandeur de la veine; mais d'une autre part ils en augmentent la vîtesse.

40. Voici les regles auxquelles il nous paroît qu'on doit s'arrêter. Toutes les fois qu'on voudra déterminer les écoulements par de petits orifices, on supposera que la contraction réduit la veine aux $\frac{5}{8}$ de l'orifice, et on se servira de cette réduction pour fixer le rapport de l'orifice au fond. Si, par exemple, on veut déterminer la quantité d'eau qui s'écoule par un vase lorsque l'orifice $= \frac{1}{20}$ du fond; si la contraction réduit la veine fluide aux $\frac{5}{8}$ de l'orifice, cette veine ne sera que les $\frac{5}{160} = \frac{1}{32}$ du fond. On calculera alors (§ 15) comme s'il n'y avoit point de contraction, et comme si l'eau jouissoit

d'une mobilité parfaite, et obéissoit complètement à la pesanteur. Les résultats qu'on aura doivent toujours un peu excéder les dépenses véritables; mais si les orifices sont grands, et si on emploie la même réduction pour la contraction de la veine, cette réduction sera trop grande, et les quantités d'eau que le calcul déterminera seront moindres que celles qu'on aura réellement. Cependant comme on ignore la loi selon laquelle la contraction de la veine augmente ou diminue, on ne peut pas se flatter d'avoir des déterminations rigoureuses sur l'écoulement des eaux, même lorsqu'elles sortent par des orifices percés dans de minces parois.

SECTION III.

Loix de l'écoulement de l'eau pour un vase cylindrique ou prismatique droit qui se vuide par un orifice quelconque pratiqué au fond.

41. Lorsque l'orifice est fort petit, la vîtesse avec laquelle l'eau en sort, en supposant le vase entretenu toujours plein, peut être regardée comme égale à celle qu'un grave auroit acquise en tombant librement de la hauteur du vase. Dans ce cas particulier, les regles ordinaires de Galilée sur l'accélération peuvent être appliquées au mouvement des eaux. On conclut aisément de ces regles que, lorsqu'on a un vase rempli d'eau qu'on laisse vuider par un orifice fort petit pratiqué au fond, pendant le temps nécessaire pour qu'il se vuide totalement, le même vase, s'il eût été entretenu toujours plein, auroit fourni par le même orifice deux fois autant d'eau qu'il en contient. En effet, à mesure que le vase se vuide, la hauteur de l'eau diminue à chaque instant. Puisque ses vîtesses successives sont toujours comme les racines des hauteurs, elles peuvent être représentées par les ordonnées d'une parabole. Elles vont en décroissant précisément comme celle d'un corps qui seroit poussé de bas en haut: mais comme ce corps peut parcourir d'un mouvement uniforme, en conservant sa premiere vîtesse, un espace double

de celui où il seroit monté pour la perdre, il suit que la dépense de l'eau doit être double dans le même temps, dès que sa premiere vîtesse reste la même; ou bien qu'un vase entretenu toujours plein fournit deux fois autant d'eau qu'il en contient dans un temps égal à celui qu'il faudroit pour qu'il se vuidât totalement.

42. Il est aisé de voir que les regles ordinaires de Galilée cessent de donner des résultats exacts, dès que l'orifice ne peut plus être considéré comme fort petit par rapport au fond, et qu'elles sont d'autant plus défectueuses, que l'orifice devient plus grand. Il est évident en effet que lorsque l'orifice égale le fond absolu, il sort toujours la même quantité d'eau dans le même temps, soit que le vase soit entretenu plein, soit qu'il se vuide. Ainsi la quantité d'eau fournie par un vase entretenu toujours plein ne differe jamais davantage de celle que fournit le même vase, dans un temps égal à celui qu'il lui faut pour se vuider totalement, que lorsque l'orifice peut être regardé comme infiniment petit; elle est alors deux fois plus grande : mais cette différence diminue toujours à mesure que l'orifice devient plus grand par rapport au fond; c'est-à-dire que pour rendre la dépense, par le vase entretenu toujours plein, double de celle du vase qui se vuide, il faut que l'écoulement par le premier de ces vases se soutienne pendant un temps plus long que celui qui est nécessaire pour que le vase se vuide totalement.

43. On pourra connoître, dans chaque cas particulier, la différence des quantités d'eau fournies selon que le vase se vuide ou qu'il est entretenu toujours plein.

A mesure que l'orifice sera plus petit, le temps nécessaire pour que le vase se vuide sera plus grand, et il croîtra dans la même proportion que le fond soutiendra un plus grand nombre de colonnes égales à celle qui répond à l'orifice. On aura donc cette proportion : L'orifice est au fond absolu, comme le temps que le vase emploieroit à se vuider si le fond étoit détruit, est au temps qu'il emploieroit à se vuider par l'orifice.

Connoissant le temps qu'un vase emploie à se vuider par l'orifice,

il faut chercher la dépense qu'il fera dans le même temps en le supposant entretenu toujours plein. On comparera les dépenses dans le même temps: la différence qu'on trouvera sera, comme je l'ai dit, d'autant plus grande, que l'orifice sera plus petit par rapport au fond, et elle sera nulle lorsque l'orifice sera égal au fond absolu.

Pour un vase de 15 pieds de hauteur, et dont l'orifice seroit le dixieme du fond absolu, on auroit la proportion, 1 : 10 :: 1″ : 10″; c'est-à-dire qu'il faudra, dans ce cas, 10″ au vase pour se vuider: mais puisque la dépense de ce vase entretenu toujours plein est de 28 pieds $\frac{1}{2}$ par seconde, dans les dix secondes sa dépense sera égale à un cylindre qui auroit pour base l'orifice et 285 pieds de longueur. Or le volume d'eau contenu dans le vase est exprimé par le produit de la surface de la base par la hauteur, ou par 10 × 15 = 150. Les dépenses par le vase qui se vuide, et par celui qui est entretenu toujours plein, sont donc entre elles dans le même temps :: 150 : 285; d'où il suit qu'il faudroit que le vase entretenu toujours plein coulât pendant une demi-seconde de plus que le vase qui se seroit vuidé, pour fournir une dépense double.

Il est inutile de dire que les regles que nous venons de donner sont modifiées par la contraction de la veine: si d'ailleurs, comme nous le pensons, cette contraction diminue avec la hauteur de l'eau dans le vase, et à proportion que l'orifice est plus grand, il n'est pas douteux que l'écoulement par un vase qui se vuide ne se fasse un peu plus rapidement que nous ne l'avons dit, dans des cas approchants de ceux que nous venons de désigner.

SECTION IV.

Autre maniere dont on peut considérer l'écoulement de l'eau par des orifices percés au fond de vases prismatiques ou cylindriques droits.

44. En déterminant l'écoulement de l'eau (§ 15), nous avons décomposé la pesanteur absolue en deux forces, l'une perpendicu-

laire au plan incliné, représentant le poids soutenu par le fond du vase; et l'autre, dans la direction du plan incliné, indiquant la pesanteur à laquelle la masse d'eau obéissoit. Mais, en supposant que la pesanteur absolue et la résistance que le fond oppose sont dans la même direction, et que les tranches horizontales du fluide restent toujours paralleles et n'ont de mouvement que dans le sens vertical, alors la décomposition des forces ne peut plus avoir lieu, et il faut prendre leur différence pour déterminer la vîtesse de l'eau.

Si, par exemple, l'orifice est $\frac{1}{30}$ du fond absolu, le fond soutiendra les $\frac{29}{30}$ du volume d'eau contenu dans le vase; et si on suppose que toutes les particules de ce fluide s'abaissent verticalement, l'écoulement se fera de la même maniere que si la pesanteur n'étoit que la trentieme partie de la pesanteur ordinaire. Or on sait, par les principes de la méchanique, que la force qui fait descendre un corps le long d'un plan incliné n'est que la pesanteur diminuée dans le rapport de la hauteur du plan incliné à sa longueur. Ainsi, si on a un plan incliné tel que sa longueur AC (*figure* 10) soit à sa hauteur AB, comme la pesanteur absolue est à la pesanteur qui reste au volume d'eau; puisque, dans le temps qu'un grave tomberoit librement de la hauteur AB, le même corps ne parviendroit sur le plan incliné qu'au point D où la perpendiculaire abaissée du point B sur AC rencontre cette derniere ligne, l'espace AD représente celui que la pesanteur modifiée fait parcourir au mobile.

45. Imaginons que le vase dont l'orifice est $\frac{1}{30}$ du fond absolu ait 15 pieds de hauteur, la pesanteur de l'eau dans le vase ne sera que $\frac{1}{30}$ de la pesanteura bsolue; ce fluide ne s'abaissera donc, dans une seconde, que de $\frac{1}{2}$ pied: mais si on suppose qu'il se meuve ensuite uniformément avec la vîtesse acquise, il parcourra constamment pendant chaque seconde un pied dans le vase.

Pour connoître la vîtesse avec laquelle l'eau s'échappera de l'orifice, il faudra augmenter la longueur du cylindre d'eau qui sort du vase dans un temps donné, dans le même rapport que le fond du vase est plus grand que l'orifice. Dans le cas présent, en une

seconde il sortira un cylindre d'eau de 30 pieds de longueur.

Si l'orifice étoit $\frac{1}{20}$ du fond, la vîtesse de l'eau dans le vase, lorsqu'elle seroit parvenue à l'uniformité, seroit exprimée par $\frac{2 \times 15}{20}$ pieds = 1 pied $\frac{1}{2}$. La hauteur du cylindre qui sortira dans le même temps par l'orifice sera 20 fois plus grand, et par conséquent de 30 pieds.

En faisant successivement l'orifice de $\frac{1}{15}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, etc. par rapport au fond absolu, on trouve pour tous les cas possibles, d'après cette théorie, que l'eau en sortant du vase a une vîtesse égale à celle qu'elle auroit acquise en tombant librement de la hauteur du vase.

Les résultats de cette théorie ne s'accordent avec l'expérience que dans les cas où l'orifice est fort petit relativement au fond. A mesure que les orifices ont une surface plus approchante du fond, les jets d'eau s'élevent à une moindre hauteur. Si cette théorie étoit vraie, les jets d'eau s'éleveroient dans tous les cas à la même hauteur; et lorsque l'orifice deviendroit égal au fond absolu, il sortiroit du vase, dans le temps qu'un grave emploieroit à tomber de sa hauteur, le double de l'eau que ce vase contient: ce qui est visiblement absurde.

D'un autre côté, en supposant seulement que l'eau du vase, dans le temps qu'un grave emploieroit à tomber de la hauteur de ce vase, ne s'abaissât que de la quantité AD relative à la pesanteur qui lui reste, la théorie ne seroit vraie que pour le cas où l'orifice est égal au fond absolu.

46. La théorie que nous venons d'exposer est fausse, sous quelque point de vue qu'on la considere. Voici quelques réflexions qui confirment l'opinion que nous venons d'en donner, et qui sont très propres à mieux établir celle du § 15.

1°. Il est absolument impossible que les filets d'eau qui sont appuyés sur le fond du vase tombent ou s'abaissent verticalement; ils doivent essentiellement suivre des directions obliques, comme

l'a observé M. d'Alembert, et comme l'expérience le montre. Or, si les filets d'eau ne suivent pas une direction verticale, ils ne se meuvent pas seulement avec une pesanteur égale à la différence de la pesanteur absolue et de la pesanteur de la masse d'eau soutenue par le fond du vase, mais avec une force plus grande. Dès que cette force s'exerce dans des directions différentes de la verticale, la décomposition doit avoir lieu. Or la force qui est détruite par le fond est connue, ainsi que la pesanteur absolue. On peut donc trouver, d'après ces données, la force dont l'eau reste animée.

2°. Dans la formule du § 15, x représente la hauteur du cylindre d'eau, de même base que le fond absolu, qui sort du vase dans le temps qu'un grave tomberoit librement de la hauteur désignée par a dans la même formule : mais on doit bien se garder de conclure que, lorsque la vîtesse de l'eau est parvenue à l'uniformité, il puisse sortir du vase un volume d'eau de même base que le fond, et dont la hauteur soit $2x$; il ne faut considérer que le mouvement total que peut avoir l'eau dans un temps donné. Or le vase est toujours plein par la supposition ; la pesanteur ne peut donc dans le même temps que lui faire parcourir le même espace. S'il pouvoit arriver que l'eau parcourût dans le sens vertical un espace $= 2x$ dans le temps qu'un grave emploieroit à tomber librement de la hauteur du vase, il faudroit que la pesanteur fît baisser dans le même temps la tranche la plus élevée d'une quantité égale à $2x$, tandis qu'elle ne peut réellement lui faire parcourir que l'espace x.

On doit considérer alors la pesanteur comme une force appliquée à un piston qui auroit le même mouvement que celui que l'eau peut prendre naturellement dans le vase : le mouvement de l'eau s'accéléreroit dans le vase et à l'orifice, jusqu'à l'expiration du temps nécessaire pour que le piston acquît tout le mouvement qu'il doit avoir ; ce temps est égal à celui qu'il faudroit à un grave pour tomber de la hauteur du vase.

SECTION V.

Loix des vîtesses de l'eau lorsqu'elle s'échappe d'un vase formé de deux autres vases prismatiques ou cylindriques droits, de diametre inégal, joints l'un à l'autre et entretenus toujours pleins.

47. Soient ABCD, GLMH (*figure* 11), les coupes verticales de deux vases joints. Si on forme un parallélogramme FIKE qui puisse être regardé comme la section d'un prisme ou d'un cylindre de même capacité que les deux prismes ou cylindres joints, les circonstances de l'écoulement de l'eau par ce prisme ou cylindre unique seront les mêmes que par les prismes ou cylindres réunis. En effet, dans les deux cas, il y a le même volume d'eau qui tombe; la hauteur de la chûte est la même, et il y a des parties égales de ce volume d'eau qui sont soutenues.

48. Il est évident qu'au lieu d'imaginer deux prismes ou deux cylindres joints, on peut en supposer un plus grand nombre, et que l'écoulement par tous ces prismes sera le même que par un prisme droit qui auroit même hauteur et même capacité que tous les prismes réunis. On peut donc réduire avec la plus grande facilité les cas où l'écoulement se fait par plusieurs vases inégaux, à celui d'un vase unique et droit, et employer par conséquent les regles données aux §§ 15 et 16.

49. Indépendamment des modifications que la contraction de la veine doit occasionner, et que le lecteur est en état d'évaluer à-peu-près suivant ce qui a été dit sur cette matiere, je dois faire remarquer que cette théorie ne sauroit jamais donner des résultats exacts, attendu l'impossibilité que toute la masse d'eau tombe à la fois, ou que la surface de ce fluide reste horizontale. La différence des résultats de l'expérience avec ceux de la théorie sera d'autant plus grande, que l'orifice sera plus grand par rapport au fond LM, et que le vase ABCD aura moins de hauteur et plus de capacité par rapport au vase GLMH.

On

On voit en effet que lorsque l'orifice O est égal au fond LM, toute l'eau comprise dans le prisme ou cylindre inférieur tombera librement, et que la quantité d'eau écoulée pour un temps connu doit se déterminer d'après le rapport de l'orifice GH au fond CD du vase ABCD, en ayant cependant égard à l'influence que peut avoir sur la diminution de la contraction le vase GHLM qui n'est alors qu'un tuyau additionnel: mais la question est alors évidemment changée; ce n'est plus le volume d'eau compris dans les deux cylindres ou prismes qui tombe à chaque instant, c'est seulement l'eau comprise dans le prisme ou cylindre supérieur.

50. Si donc, dans cette circonstance, on imaginoit un prisme ou cylindre FIKE de même capacité que les deux prismes ou cylindres réunis, et si on déterminoit la quantité d'eau qui seroit fournie par ce prisme ou cylindre, en supposant l'orifice égal à LM, cette quantité d'eau sera plus grande que celle que l'expérience pourra fournir; et cela vient de ce qu'on suppose, comme je l'ai déja dit, le volume d'eau qui tombe à chaque instant plus grand qu'il n'est réellement.

51. Si ces réflexions nous font voir la difficulté de parvenir à des résultats exacts, elles servent cependant à fixer des limites importantes. En calculant la quantité d'eau fournie par le vase FEIK dans un temps donné, lorsque l'orifice est le plus grand qu'il soit possible, c'est-à-dire lorsqu'il est égal à LM, et en calculant ensuite pour le même temps la quantité d'eau fournie par le vase ABCD et par l'orifice GH = LM, on aura deux dépenses qu'on comparera. L'excès de l'une sur l'autre annoncera la plus grande différence qu'il puisse y avoir entre la théorie et l'expérience. Cependant cette différence diminue toujours davantage à proportion que l'on rendra l'orifice O plus petit par rapport à LM; mais on ne sauroit la faire disparoître en entier, et les résultats de la théorie pécheront toujours par excès.

52. M. Bossut prescrit, dans le cas présent, de considérer l'écoulement comme s'il avoit lieu par un vase cylindre égal au plus grand

des deux vases joints ; mais on vient de voir qu'en substituant seulement aux vases joints un vase droit de même capacité, on a des dépenses trop grandes. Les résultats de la théorie de M. Bossut s'écarteront donc encore davantage de l'exactitude. Je dois ajouter que M. Bossut suppose toujours la vîtesse à l'orifice égale à celle qu'un corps auroit acquise en tombant librement de la hauteur du vase.

SECTION VI.

Loix des vîtesses de l'eau lorsqu'elle s'échappe d'un vase, qui n'est ni cylindrique ni prismatique, par une ouverture quelconque pratiquée au fond. On supposera le vase entretenu constamment plein.

53. Nous n'entrerons pas dans tous les détails que cette matiere pourroit exiger ; nous nous bornerons à quelques objets essentiels. Lorsque le vase est évasé, le fond ne porte, dans le cas d'équilibre, que le poids de la colonne qui répond immédiatement au-dessus ; mais lorsque le fond AB (*figure* 12) est supprimé, ce n'est pas seulement l'eau qui répond à ce fond qui tombe, mais encore toute celle qui est appuyée sur les parois inclinées du vase. Toutes les parties de chaque tranche tombent avec la même facilité, puisqu'on suppose que la surface reste toujours de niveau. Or, puisque la quantité d'eau qui tombe, la hauteur de cette eau et le diametre de l'ouverture sont déterminés, il est évident qu'on peut réduire les cas où on a des vases inclinés à d'autres où les parois sont perpendiculaires au fond. Ainsi, en formant un vase tel que FEGH droit et de même capacité que celui qui est évasé, il renfermeroit la même quantité d'eau, ce fluide y auroit la même élévation, et il pourroit s'échapper par une ouverture égale. Or nous avons appris à déterminer la quantité d'eau écoulée et la vîtesse de ce fluide, dès que le rapport de l'orifice au fond absolu étoit donné (§. 15).

Si l'orifice I étoit moindre que le fond AB du vase DABC, il faudroit toujours réduire le vase à un autre FEHG de même hauteur

et de même capacité; et connoissant ensuite le rapport de la surface de l'orifice à celle du fond absolu du vase FEHG, on déterminera aisément la loi des vîtesses (§ § 15, 16).

54. On doit appliquer à ce cas les observations que j'ai faites (§ 22). Ainsi la théorie que je donne péchera par excès à cause de l'impossibilité qu'il y a à ce que toutes les particules d'eau comprises dans le vase tombent à la fois et avec la même facilité: supposition qui est une suite de cette autre, que la surface du fluide reste toujours horizontale.

55. Si les parois du vase convergeoient au-dessus du fond AB (*figure* 13), on réduiroit le vase ABCD à un autre vase droit FEHG de même capacité et de même hauteur. Tant que l'orifice sera plus grand que EH, l'eau s'écoulera comme si elle tomboit librement; mais si l'orifice est ensuite plus petit que EH, on déterminera la loi des vîtesses, comme nous l'avons enseigné précédemment, en comparant l'orifice I au fond absolu du vase FEHG.

56. Si le vase avoit une forme telle que la *fig.* 14 l'indique, il est clair que si le fond AB étoit détruit, toute l'eau contenue dans le vase tomberoit à la fois, et il seroit impossible d'entretenir le vase toujours plein.

Il est évident qu'en faisant l'orifice I moindre que le fond AB, tant que cet orifice permettra l'écoulement d'une plus grande quantité d'eau que celle qui pourra tomber librement par le tuyau EO, il y aura interruption d'action entre les parties de ce fluide contenues dans le tuyau et celles qui sont comprises dans le vase CABD, et que ce dernier vase se vuidera.

Lorsqu'il coulera autant d'eau par l'orifice qu'il en peut tomber librement par le tuyau EO, alors on pourra regarder l'eau qui vient du tuyau comme devant servir à entretenir le vase CABD toujours plein, et la loi des vîtesses se trouvera dans ce cas en connoissant le rapport de la surface de l'orifice à celle du fond absolu; enfin si, tout le reste ne changeant pas, l'orifice devient plus petit, la vîtesse à l'orifice augmentera, et on pourra la déterminer à-peu-près au moyen des principes précédents.

57. Les remarques que nous avons faites sur le mouvement de l'eau lorsqu'elle sort par des ouvertures faites au fond de vases cylindriques ou prismatiques droits, doivent s'appliquer à l'écoulement de ce fluide par des vases dont les parois convergent au-dessous ou au-dessus de leurs fonds.

SECTION VII.

Loix des vîtesses de l'eau lorsqu'elle sort d'un vase prismatique ou cylindrique incliné.

58. Dans un vase prismatique ou cylindrique droit dont le fond est subitement anéanti, l'action des parties supérieures de l'eau sur les inférieures cesse, et la surface du fluide qui tombe reste horizontale comme elle l'étoit dans l'état d'équilibre.

59. Si le vase prismatique (*figure* 15), au lieu d'être droit, étoit incliné, il est certain que, dans l'état d'équilibre et de repos, la surface de l'eau seroit horizontale. En supposant ensuite le fond subitement anéanti, toutes les parties du fluide contenues dans le vase conserveront la même position relative; elles descendront le long du plan incliné de la même maniere que le feroit tout autre corps solide. Chacune de ces parties suivra la direction du plan incliné, et aucune d'elles ne sauroit avoir une plus grande vîtesse que les autres.

60. A mesure que l'on anéantit le fond, les particules d'eau qui sont au-dessous de IO, n'étant pas soutenues, obéiroient librement à la pesanteur, sans l'action des autres particules qui sont au-dessus de IO, et qui tendent à se mouvoir le long du plan incliné. Quant à ces dernieres, à mesure qu'elles arrivent à la verticale IO, elles sont animées à la fois par la pesanteur absolue et par la vîtesse qu'elles ont acquise le long du plan incliné; elles décrivent des paraboles dont l'amplitude augmente jusqu'à ce que la vîtesse acquise soit la plus grande. Au reste, toutes ces considérations sont inutiles lorsqu'il s'agit de déterminer la quantité d'eau qui sort d'un

vase incliné; il suffit de connoître dans un temps donné la hauteur dont la tranche horizontale supérieure s'est abaissée.

61. Soient deux vases de même base (*figure* 16), de même hauteur et par conséquent de même capacité, l'un droit et l'autre incliné, et tous les deux remplis d'eau; en tirant la perpendiculaire EH sur le plan incliné, il est évident que la tranche la plus élevée parviendra en EG dans le vase droit, tandis qu'elle ne sera qu'en HO dans le vase incliné. Les quantités d'eau écoulées dans le vase droit et le vase incliné sont donc dans le même temps comme BE : BP; et dans le temps qu'il faudroit au vase incliné pour se vuider, il s'en vuideroit un autre droit qui auroit BT pour hauteur.

Nommant y l'angle formé par le plan incliné avec la verticale; a la longueur du plan incliné, et x la hauteur d'un vase droit de même base qui se vuideroit dans le même temps que le vase incliné, on aura toujours cos. $y : a :: R : x$: d'où l'on tire $x = \frac{a}{\cos. y}$ en faisant le rayon $= 1$. On voit qu'x croît à mesure que l'angle y augmente, ou bien qu'il faut toujours plus de temps au vase incliné pour se vuider.

62. C'est ici le lieu d'ajouter quelques réflexions à celles que nous avons faites au § 23.

En supposant le vase de la *figure* 16 droit ou incliné et plein d'eau, si le fond en est subitement anéanti, toutes les parties du fluide obéiront à la fois et de la même maniere à la pesanteur, et toutes les tranches resteront nécessairement égales. Mais si on imagine que, dans l'instant où la tranche supérieure ABCD descend, on la remplace par une tranche égale, il est évident que lorsque la tranche supérieure primitive ABCD sera parvenue à l'extrémité NEGM du vase, alors toutes les tranches qui seront au-dessus du fond seront désunies, attendu qu'elles ont des degrés différents de vîtesse; et si l'adhérence que les parties d'eau ont entre elles permet que les tranches ne se séparent pas, alors il n'y aura que la tranche la plus élevée qui touche les parois du vase, et les

autres s'en écarteront toujours davantage à proportion que le vase aura plus de longueur. La forme de l'eau dans le vase sera pyramidale ou conique, selon que le vase sera prismatique ou cylindrique.

Les vîtesses de l'eau à l'extrémité du vase droit et du vase incliné seront égales; mais il ne suit pas de là que la quantité d'eau écoulée de ces vases dans le même temps soit la même. Comme la tranche ABCD est déformée en sortant du vase, ce n'est pas sur la vîtesse qu'elle a alors qu'il faut régler la quantité d'eau écoulée; il faut employer pour cela l'eau même dont on a fait usage pour entretenir le vase toujours plein. Or la tranche ABCD n'ayant, au commencement de sa chûte, qu'une vîtesse nulle ou infiniment petite, il n'est pas douteux qu'elle ne parvienne en NEGM dans le vase droit, dans le même temps qu'elle ne sera qu'en HO dans le vase incliné: il sera donc sorti une quantité d'eau marquée par la hauteur BE du vase droit dans le temps qu'il n'en sera sorti qu'une quantité égale à BP par le vase incliné.

63. Si la vîtesse de la tranche ABCD pouvoit être rendue uniforme dans toute la longueur des vases droit ou incliné, il est évident alors que la vîtesse à la sortie serviroit à déterminer la quantité d'eau sortie de ces vases; mais cela est impossible dans un vase prismatique droit ou incliné quelconque dont le fond est anéanti, à moins qu'il ne soit très court, et que la vîtesse communiquée à l'eau additionnelle ne soit très considérable.

La hauteur du vase droit étant de 30 pieds, et la vîtesse de l'eau additionnelle de 15 pieds par seconde, indépendamment de cette vîtesse, la pesanteur, à la fin du même temps, auroit fait parcourir 15 pieds à chaque tranche: l'eau additionnelle aura donc parcouru 30 pieds à la fin de la premiere seconde; mais comme il n'est entré dans le vase, dans le même temps, qu'un prisme d'eau qui a pour base celle du vase et 15 pieds de hauteur, il suit que l'eau ne remplira pas le vase. Pour que cet effet eût lieu, il faudroit que la vîtesse de l'eau additionnelle fût si considérable, que la vîtesse produite par la pesanteur dans une seconde de temps fût nulle par rapport à la premiere.

64. Il est donc certain que lorsqu'on a des vases prismatiques de même base et de même hauteur, quoique leurs bases soutiennent le même poids et soient également pressées dans le cas d'équilibre; il est certain, dis-je, que si leur fond est subitement anéanti, et la vîtesse de l'eau additionnelle ou nulle ou fort petite, les quantités d'eau écoulées seront déterminées par les principes établis au § 61.

65. Si le vase étoit incliné, et la vîtesse de l'eau additionnelle de 15 pieds par seconde dans le sens de la longueur du vase, le vase pourroit être deux, trois fois, etc. plus long que le vase droit: mais il ne sortira jamais du vase incliné, dans une seconde de temps, que la quantité d'eau qui y entrera dans le même temps; et comme le vase a toujours la même capacité, quelle que soit sa longueur, si cette longueur est double de celle du vase droit, il ne donnera dans le même temps que la moitié de l'eau que donne le vase droit.

66. 67. En général, pour qu'il n'y eût point de vuide dans les vases prismatiques ou cylindriques, quelle que fût la grandeur de l'orifice par lequel l'eau pourroit s'écouler, il faudroit qu'au lieu d'imaginer, lorsque chaque tranche supérieure s'abaisse, qu'elle est remplacée par une tranche nouvelle, on pût employer à la fois un volume d'eau précisément égal à celui que la pesanteur fait tomber. Ainsi, par exemple, en ayant un vase prismatique droit de 15 pieds de hauteur dont le fond est anéanti, il ne sera toujours entretenu plein qu'autant qu'on imaginera au-dessus de ce vase une colonne d'eau toujours subsistante qui ait précisément les mêmes dimensions que le vase inférieur; car dans ce cas il faut renouveller toute la masse, puisque toute la masse tombe.

SECTION VIII.

Du mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite.

68. Nous avons déterminé (§§ 15, 16) le mouvement de l'eau

seconde il sortira un cylindre d'eau de 30 pieds de longueur.

Si l'orifice étoit $\frac{1}{20}$ du fond, la vîtesse de l'eau dans le vase, lorsqu'elle seroit parvenue à l'uniformité, seroit exprimée par $\frac{2 \times 15}{20}$ pieds = 1 pied $\frac{1}{2}$. La hauteur du cylindre qui sortira dans le même temps par l'orifice sera 20 fois plus grand, et par conséquent de 30 pieds.

En faisant successivement l'orifice de $\frac{1}{15}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, etc. par rapport au fond absolu, on trouve pour tous les cas possibles, d'après cette théorie, que l'eau en sortant du vase a une vîtesse égale à celle qu'elle auroit acquise en tombant librement de la hauteur du vase.

Les résultats de cette théorie ne s'accordent avec l'expérience que dans les cas où l'orifice est fort petit relativement au fond. A mesure que les orifices ont une surface plus approchante du fond, les jets d'eau s'élevent à une moindre hauteur. Si cette théorie étoit vraie, les jets d'eau s'éleveroient dans tous les cas à la même hauteur; et lorsque l'orifice deviendroit égal au fond absolu, il sortiroit du vase, dans le temps qu'un grave emploieroit à tomber de sa hauteur, le double de l'eau que ce vase contient : ce qui est visiblement absurde.

D'un autre côté, en supposant seulement que l'eau du vase, dans le temps qu'un grave emploieroit à tomber de la hauteur de ce vase, ne s'abaissât que de la quantité AD relative à la pesanteur qui lui reste, la théorie ne seroit vraie que pour le cas où l'orifice est égal au fond absolu.

46. La théorie que nous venons d'exposer est fausse, sous quelque point de vue qu'on la considere. Voici quelques réflexions qui confirment l'opinion que nous venons d'en donner, et qui sont très propres à mieux établir celle du § 15.

1°. Il est absolument impossible que les filets d'eau qui sont appuyés sur le fond du vase tombent ou s'abaissent verticalement; ils doivent essentiellement suivre des directions obliques, comme

l'a observé M. d'Alembert, et comme l'expérience le montre. Or, si les filets d'eau ne suivent pas une direction verticale, ils ne se meuvent pas seulement avec une pesanteur égale à la différence de la pesanteur absolue et de la pesanteur de la masse d'eau soutenue par le fond du vase, mais avec une force plus grande. Dès que cette force s'exerce dans des directions différentes de la verticale, la décomposition doit avoir lieu. Or la force qui est détruite par le fond est connue, ainsi que la pesanteur absolue. On peut donc trouver, d'après ces données, la force dont l'eau reste animée.

2°. Dans la formule du § 15, x représente la hauteur du cylindre d'eau, de même base que le fond absolu, qui sort du vase dans le temps qu'un grave tomberoit librement de la hauteur désignée par a dans la même formule : mais on doit bien se garder de conclure que, lorsque la vîtesse de l'eau est parvenue à l'uniformité, il puisse sortir du vase un volume d'eau de même base que le fond, et dont la hauteur soit $2x$; il ne faut considérer que le mouvement total que peut avoir l'eau dans un temps donné. Or le vase est toujours plein par la supposition ; la pesanteur ne peut donc dans le même temps que lui faire parcourir le même espace. S'il pouvoit arriver que l'eau parcourût dans le sens vertical un espace $= 2x$ dans le temps qu'un grave emploieroit à tomber librement de la hauteur du vase, il faudroit que la pesanteur fît baisser dans le même temps la tranche la plus élevée d'une quantité égale à $2x$, tandis qu'elle ne peut réellement lui faire parcourir que l'espace x.

On doit considérer alors la pesanteur comme une force appliquée à un piston qui auroit le même mouvement que celui que l'eau peut prendre naturellement dans le vase : le mouvement de l'eau s'accéléreroit dans le vase et à l'orifice, jusqu'à l'expiration du temps nécessaire pour que le piston acquît tout le mouvement qu'il doit avoir ; ce temps est égal à celui qu'il faudroit à un grave pour tomber de la hauteur du vase.

vient cet inconvénient qu'en plaçant sur ces parties éminentes des ventouses pour donner issue à l'air. Ces ventouses sont de petits tuyaux de plomb soudés à la conduite, et dont le bout supérieur se ferme par le moyen d'une soupape renversée qui laisse sortir l'air jusqu'à ce que l'eau la souleve, et la tienne ensuite fermée lorsque l'air est sorti. Il convient d'ajouter ici une expérience de M. Couplet, qui prouve combien l'usage des ventouses est avantageux. Il est question d'une conduite de plomb, de 8 pouces de diametre et de 1900 toises de longueur, qui amene les eaux de Roquencour au château de Versailles dans les réservoirs du dessous de la rampe de la chapelle, sous une pente ou charge de 2 pieds 6 pouces. Cette conduite n'a jamais fourni par sa gueule bée que 22 ou 23 pouces d'eau, d'environ 30 qui se présentent à son embouchure. Lorsqu'on lâchoit autrefois l'eau à l'embouchure de cette conduite, il se passoit environ dix jours avant qu'il en parût une goutte à son bout de sortie, et cela parceque, le long de cette conduite, il y avoit beaucoup de coudes élevés dans lesquels l'air se cantonnoit, et d'où il ne sortoit qu'avec beaucoup de peine. C'est pour cela qu'on prit le parti d'adoucir quelques coudes, et de mettre des ventouses aux endroits les plus élevés, où elles sont encore : alors, au bout de 12 heures, on vit sortir quelques filets d'eau, au lieu de 10 à 12 jours qu'il falloit auparavant; et, 5 à 6 heures après, il sortit 22 à 23 pouces d'eau, qui est toute la quantité qu'on peut avoir par cette conduite. Dans cet intervalle de 5 à 6 heures qu'on attendit avant d'avoir l'écoulement dans sa plénitude, il sortit des bouffées de vent, des flocons d'air et d'eau, et des filets d'eau, qui tantôt couloient et tantôt ne couloient plus.

75. Les écoulements par des tuyaux de conduite qui ont différentes longueurs et différentes sinuosités, ne peuvent pas être soumis à aucune théorie rigoureuse. Mais comme MM. Couplet et Bossut ont fait des expériences très précieuses, on ne pourra mieux faire que d'y avoir recours lorsqu'on sera dans le cas d'exécuter quelque ouvrage considérable dans ce genre; c'est-à-dire lorsqu'on

voudra déterminer à peu près le diametre qu'il convient de donner à une conduite, relativement à sa longueur, à la quantité d'eau qu'elle doit porter, et à la charge d'eau. Pour faciliter davantage ce travail, M. l'abbé Bossut a dressé une table qui contient les résultats de toutes ses expériences et de celles de M. Couplet. La voici telle qu'on la trouve, *Hydrodyn. part. II. page* 159 *et suiv.*

La premiere colonne fait connoître les diametres des conduites, leurs longueurs, leurs pentes, leurs sinuosités. La longueur de chaque conduite est toujours prise dans le sens de son développement, et comprend par conséquent les sinuosités lorsqu'il s'y en trouve.

La seconde exprime les charges d'eau, c'est-à-dire les hauteurs des réservoirs au-dessus de la gueule bée par laquelle se fait la décharge.

Dans la troisieme, chaque fraction exprime le rapport de la dépense effective à la dépense qui auroit réellement lieu si l'eau n'éprouvoit aucune résistance dans son chemin, et se mouvoit comme dans des tuyaux additionnels qui eussent peu de longueur.

Diametres et longueurs des conduites.	Charges d'eau, ou hauteurs des réservoirs, exprimées en pieds, pouces et lignes.	Rapport de la dépense effective à la dépense dépouillée de l'effet des résistances.
Conduite de plomb, rectiligne et horizontale, qui a 1 pouce de diametre et 50 pieds de longueur.	0$^{pi.}$ 4$^{po.}$ 0$^{li.}$	$\frac{1}{3,55}$
	1 0 0	$\frac{1}{3,18}$
Même conduite, avec plusieurs sinuosités horizontales.	0 4 0	$\frac{1}{3,78}$
	1 0 0	$\frac{1}{3,43}$
Même conduite, mêmes sinuosités, mais posées verticalement.	0 4 0	$\frac{1}{3,93}$
	1 0 0	$\frac{1}{3,44}$
Conduite de fer blanc, rectiligne et horizontale, qui a 16 lignes de diametre et 180 pieds de longueur.	1 0 0	$\frac{1}{6,01}$
	2 0 0	$\frac{1}{5,64}$
Conduite de fer blanc, rectiligne et horizontale, qui a 2 pouces de diametre et 180 pieds de longueur.	1 0 0	$\frac{1}{4,57}$
	2 0 0	$\frac{1}{4,27}$

Diametres et longueurs des conduites.	Charges d'eau, ou hauteurs des réservoirs, exprimées en pieds, pouces et lignes.	Rapport de la dépense effective à la dépense dépouillée de l'effet des résistances.
Conduite de fer blanc, rectiligne, ayant 16 lignes de diametre, 177 pieds de longueur, et inclinée sous une pente qui est la $\frac{241}{2124}$ partie de sa longueur.	20pi. 11po. 0li.	$\frac{1}{5}$
Même conduite, mais n'ayant que 118 pieds de longueur.	13 4 8	$\frac{1}{4}$
Même conduite, mais n'ayant que 59 pieds de longueur.	6 8 4	$\frac{1}{2,82}$
Conduite presque entièrement de fer, qui a 4 pouces de diametre et environ 297 toises de longueur, avec plusieurs sinuosités horizontales et verticales.	0 9 0 1 9 0 2 7 0	$\frac{1}{28,5}$ $\frac{1}{26,53}$ $\frac{1}{25,79}$
Conduite presque entièrement de fer, qui a 6 pouces de diametre et environ 285 toises de développement, avec plusieurs sinuosités horizontales et verticales.	0 3 0 0 5 3	$\frac{1}{12,35}$ $\frac{1}{11,37}$
Conduite, partie grès, partie plomb, qui a 5 pouces de diametre et environ 1170 toises de longueur, avec plusieurs sinuosités horizontales et verticales.	0 5 7 0 11 4 1 4 9 1 9 1 2 1 0	$\frac{1}{23,10}$ $\frac{1}{20,98}$ $\frac{1}{19,49}$ $\frac{1}{18,78}$ $\frac{1}{18,46}$
Conduite de fer, qui a 1 pied de diametre et environ 600 toises de longueur, avec des sinuosités horizontales et verticales.	12 1 3	$\frac{1}{10,08}$
Conduite de fer, qui a 18 pouces de diametre et environ 600 toises de longueur, avec plusieurs sinuosités horizontales et verticales.	12 1 3	$\frac{1}{6,05}$
Conduite de fer, qui a 18 pouces de diametre et environ 790 toises de longueur, avec plusieurs sinuosités horizontales et verticales.	4 7 6	$\frac{1}{10,11}$

Diametres et longueurs des conduites.	Charges d'eau, ou hauteurs des réservoirs, exprimées en pieds, pouces et lignes.	Rapport de la dépense effective à la dépense dépouillée de l'effet des résistances.
Conduite de fer, qui a 1 pied de diametre et environ 2340 toises de longueur, avec plusieurs sinuosités horizontales et verticales.	20$^{pi.}$ 3$^{po.}$ 0$^{li.}$	$\frac{1}{19,34}$

Cette table offre plusieurs termes de comparaison entre les dépenses effectives et les dépenses dépouillées des effets des résistances, selon les différents rapports qu'il y a entre les diametres des conduites, leurs longueurs et les charges d'eau. Lorsqu'on voudra amener de l'eau d'un réservoir à un point éloigné et placé plus bas, on choisira, dans cette même table, le cas le plus analogue à celui qu'on veut traiter, et on parviendra ainsi à connoître, du moins à peu près, les dimensions qu'il convient de donner à la conduite.

76. On ne doit pas oublier que, dans la table précédente, la dépense, dépouillée de l'effet des résistances, a été calculée dans la supposition que l'orifice étoit fort petit par rapport au fond absolu du réservoir : mais, à proportion que l'orifice différeroit moins du fond, la vîtesse de l'eau à l'origine seroit moindre, et cette cause se joindroit aux autres pour diminuer la dépense à l'extrémité des tuyaux de conduite.

77. Je renvoie entièrement au second volume de l'architecture hydraulique de M. Belidor pour les détails relatifs à la recherche des eaux, à la disposition et à l'établissement des conduites.

SECTION IX.

Des jets d'eau.

78. L'expérience a appris qu'en faisant des ouvertures égales, dans des points également éloignés du niveau de l'eau, dans des vases droits de même diametre et de même hauteur, la quantité

d'eau écoulée par ces orifices étoit la même : ainsi les orifices O et les hauteurs BO dans les vases des *fig.* 17, 18, 19, étant les mêmes, il sortira de ces vases, dans le même temps, la même quantité d'eau, quoique ce fluide suive des directions fort différentes.

79. Les loix que nous avons déterminées (§ 15, 16) sont donc applicables aux différents cas des vases représentés par les *fig.* 17, 18, 19. En supposant à l'eau une mobilité parfaite, en connoissant la résistance que l'air oppose au mouvement de ce fluide, et les modifications qu'éprouve la contraction de la veine selon la grandeur des orifices ; si, de plus, la hauteur de l'eau dans un vase droit et le rapport de l'orifice au fond absolu étoient donnés, on pourroit déterminer, avec la plus grande précision, dans un temps connu, la quantité d'eau écoulée.

80. Exposons d'abord ce que la théorie promet. Prenons un vase prismatique droit de 15 pieds de hauteur, entretenu toujours plein, dont l'orifice soit au fond absolu comme 1 à 30, la quantité d'eau qu'il fournira dans une seconde sera exprimée (§ 18) par un cylindre qui auroit pour base l'orifice, et pour hauteur 29 pieds et demi. La force qui lui a fait parcourir cet espace n'est pas la même que si l'eau, à sa sortie de l'orifice, eût eu la vîtesse que peut procurer la chûte de 15 pieds. On a vu que cela ne pouvoit avoir lieu que lorsque l'orifice étoit infiniment petit. Pourtant, comme il n'y a point de force finie qui ne puisse être considérée comme acquise par la chûte libre d'un corps ; en connoissant l'espace parcouru uniformément pendant un temps déterminé par un mobile, il est aisé de fixer la hauteur d'où il a dû tomber pour avoir, à la fin de sa chûte, la vîtesse avec laquelle il a pu parcourir l'espace en question. Dans le cas où l'orifice seroit $\frac{1}{30}$ du fond absolu, et où le vase auroit 15 pieds de hauteur, on auroit la proportion (1) $15 : 14\frac{3}{4} :: 14\frac{3}{4} : h = 14\frac{1}{2}$, à très peu près : quantité qui indique la hauteur

(1) On démontre, dans les livres de méchanique, que, connoissant la ligne de projection AB (*figure* 20), qu'on suppose parallele à l'horizon,

d'où un corps doit tomber pour parcourir 29 pieds $\frac{1}{2}$ dans une seconde.

81. En supposant toujours l'orifice $= \frac{1}{30}$ du fond absolu, et la hauteur du vase successivement de 5, 10, 20, 25 pieds, etc. on aura, par la formule $v = a + \frac{ab}{y}$ (§ 16), la longueur du cylindre d'eau écoulée uniformément par l'orifice dans le même temps que le vase entier se seroit vuidé si le fond eût été anéanti. Or, en faisant $a = 5$ pieds, $v = 9$ pieds $\frac{5}{6}$; $\frac{v}{2} = 4$ pieds $\frac{11}{12}$; et en faisant la proportion $5 : 4\frac{11}{12} :: 4\frac{11}{12} : h$, on trouve $h = 4$ pieds 10 pouces environ.

Lorsque le vase a 10 pieds de hauteur, $h = 9$ pieds 8 pouces.
Lorsque le vase a 15 pieds . . . . . . $h = 14$ pieds 6 pouces.
Lorsque le vase a 20 pieds . . . . . . $h = 19$ pieds 4 pouces.
Lorsque le vase a 25 pieds . . . . . . $h = 24$ pieds 2 pouces.
Lorsque le vase a 30 pieds . . . . . . $h = 29$ pieds 0 pouces.

82. On sait que si un corps est poussé en haut avec la vîtesse qu'il a acquise en tombant d'une certaine hauteur dans un certain temps, il doit remonter à la même hauteur dans le même temps. Or nous avons montré (§ 80) comment on trouve la hauteur qui pourroit procurer à l'eau qui sort par l'orifice, la vîtesse uniforme dont elle est animée. Cette hauteur marque donc l'élévation des jets d'eau lorsqu'ils sont dirigés verticalement. On trouvera, dans les tables suivantes, la hauteur des jets selon la hauteur des réservoirs, avec la différence de ces hauteurs pour les cas où l'orifice seroit $\frac{1}{30}$ du fond absolu, ou $\frac{1}{10}$ seulement de ce même fond.

---

et la ligne de chûte BF de la parabole AEF décrite par un mobile, on trouve la hauteur d'où un mobile doit tomber pour avoir, à la fin de sa chûte, une vîtesse avec laquelle il pût, d'un mouvement uniforme, parcourir la ligne AB, dans le même temps qu'il parcourroit par sa pesanteur la hauteur BF, en cherchant une troisieme proportionnelle à la ligne de chûte AG, et à la moitié de la ligne de projection AB. *Voyez le cours de mathém. de Belidor, page* 421, etc.

L'orifice étant $\frac{1}{30}$ du fond.			L'orifice étant $\frac{1}{10}$ du fond.		
hauteurs du réservoir.	hauteurs du jet	différences.	hauteurs du réservoir.	hauteurs du jet.	différences.
5pi.	4pi. 10po.	2po.	5pi.	4pi. 6po. 0li.	0pi. 6po. 0l.
10	9 8	4	10	9 0 3	0 11 9
15	14 6	6	15	13 6 5	1 5 7
20	19 4	8	20	18 0 7	1 11 5
25	24 2	10	25	22 7 7	2 4 5
30	29 0	12	30	27 0 10	2 11 2

83. On pourroit dresser, d'après ces principes, d'autres tables relatives aux différentes grandeurs que pourroit avoir l'orifice par rapport au fond absolu. On sent aisément que c'est de ce rapport que dépend la hauteur des jets d'eau. Mais s'il est essentiel de savoir les résultats de la théorie, il ne l'est pas moins de connoître les modifications que l'expérience y apporte.

84. La premiere considération qui se présente, et qui est fort importante, est relative à la contraction de la veine. Nous avons dit que lorsque l'eau jaillissoit par des orifices percés dans de minces parois, la veine paroissoit éprouver une contraction, et que des observateurs très habiles avoient déterminé, pour de petits orifices, que la surface de la veine contractée étoit à celle de l'orifice, à très peu près, comme 2 à 3.

Il paroît suivre de là que, dans tous les cas où le rapport de la surface de la veine à celle de l'orifice sera exprimé par celui de 2 à 3, l'orifice réel ne sera point tel qu'on l'avoit supposé, et qu'il n'en sera que les $\frac{2}{3}$, puisque la veine qui sort n'a que cette grandeur. Ainsi, par exemple, dans la table (§ 82), où nous avons calculé la hauteur des jets relativement à celle des réservoirs, en supposant l'orifice égal à $\frac{1}{30}$ du fond absolu, si la veine fluide éprouve dans ce cas la contraction dont nous avons parlé, le véritable orifice ne sera réellement que les $\frac{2}{3}$ de celui que nous avons supposé, et son rapport au fond absolu sera exprimé par $\frac{1}{45}$ au lieu de l'être par $\frac{1}{30}$; par conséquent, lorsque le rapport de l'orifice au fond sera exprimé

exprimé par $\frac{1}{30}$, pour avoir la hauteur des jets; il faudra calculer comme si l'orifice étoit la quarante-cinquieme partie du fond.

85. A mesure que l'orifice devient plus petit par rapport au fond, la différence entre la hauteur des jets et celle des réservoirs devroit être moins considérable. On observe pourtant que les jets ne doivent pas être trop petits, l'air les divise alors avec trop de facilité; et lorsque les particules d'eau dont ils sont formés sont éparpillées, elles présentent une trop grande surface à l'air, elles en éprouvent une plus grande résistance, et elles perdent plutôt leur vîtesse.

86. D'après nos principes, dès que le rapport de l'orifice au fond absolu est exprimé par $\frac{1}{30}$, la différence entre la hauteur des jets devient peu considérable par rapport à celle des réservoirs. En diminuant ensuite par degrés l'orifice, ce qu'on procure de plus en hauteur aux jets ne croît que fort peu sensiblement; et ce qu'on peut gagner par la diminution de l'orifice, peut être aisément perdu par la résistance de l'air. On voit dans la table (§ 82), où nous avons supposé que l'orifice étoit $\frac{1}{30}$ du fond, que, lorsque la hauteur du réservoir étoit de 5 pieds, l'élévation du jet étoit de 4 pieds 10 pouces. La différence entre ces hauteurs est de 2 pouces. Pour la faire disparoître théoriquement, il faudroit que l'orifice devînt infiniment petit. Or il y a une infinité de valeurs à donner à cet orifice depuis $\frac{1}{30}$ jusqu'à $\frac{1}{\infty}$; et comme on ne peut gagner que deux pouces par ce moyen, il suit qu'en diminuant par degrés l'orifice, la hauteur des jets ne peut s'accroître que d'une maniere insensible.

87. Quel que soit le rapport de l'orifice au fond absolu, non seulement il y a des différences entre la hauteur des jets et celle des réservoirs, mais les différences sont plus grandes à proportion que l'orifice est plus grand; et, en conservant le même orifice, elles croissent, par la nature des choses, à mesure que la hauteur des réservoirs devient plus considérable. Ainsi, 1°. en supposant les orifices de $\frac{1}{10}$ et de $\frac{1}{30}$ du fond, et la hauteur des réservoirs de 5 pieds, l'élévation des jets sera respectivement de 4 pieds 6

pouces et de 4 pieds 10 pouces. La différence est donc plus grande à mesure que l'orifice est plus grand. 2°. En supposant successivement l'orifice de $\frac{1}{10}$ et de $\frac{1}{30}$ du fond, on voit, en consultant la table (§ 82), qu'à mesure que la hauteur des réservoirs est de 10, 15, 20, 25, etc. pieds, la différence des jets devient respectivement double, triple, quadruple, quintuple, sextuple, etc. de celle qui avoit lieu lorsque la hauteur du réservoir n'étoit que de 5 pieds.

88. M. Mariotte a prétendu démontrer, au commencement de la quatrieme partie de son livre du mouvement des eaux, qu'ayant deux jets de différentes hauteurs, *leurs défauts, occasionnés par la résistance de l'air, étoient dans la raison des quarrés des hauteurs de ces mêmes jets;* c'est-à-dire que, si le premier jet avoit une hauteur double de celle du second, le défaut du premier seroit quadruple de celui du second. Cet auteur ajoute qu'un réservoir de 5 pieds 1 pouce donne un jet de 5 pieds. D'après cette expérience et le principe précédent, il a construit la table suivante, où l'on trouve les différentes hauteurs des jets relativement à celles des réservoirs.

hauteurs du jet.	hauteurs du réservoir.		
5pi.	5pi.	1po.	
10	10	4	
15	15	9	
20	20	16	
25	25	25	
30	30	36	ou 33 pieds.
35	35	49	
40	40	64	
45	45	81	
50	50	100	
55	55	121	
60	60	144	ou 72 pieds.
65	65	169	
70	70	196	
75	75	225	
80	80	256	
85	85	289	
90	90	324	ou 117 pieds.
95	95	361	
100	100	400	

M. Mariotte, à la suite de cette table, s'exprime ainsi : « Le « frottement contre les bords des ajutages diminue un peu de cette « proportion dans les grandes hauteurs : c'est pourquoi il est néces- « saire qu'à ces grandes hauteurs les ajutages soient d'une ouver- « ture de 10 ou 12 lignes ; car, s'ils étoient de 2 ou 3 lignes, ils « iroient beaucoup moins haut que selon cette table. . . . Dans la vî- « tesse des grands jets, l'air résiste si fortement, que l'eau se réduit « par le choc en parcelles imperceptibles qui ne peuvent aller bien « haut. J'ai expérimenté qu'il faut aussi que les tuyaux aient une « largeur considérable jusqu'à l'ajutage, et d'autant plus grande, « que l'ajutage est plus large. Voici les regles de ces grandeurs. »

Table des largeurs des tuyaux et des différents ajutages, selon la hauteur des réservoirs.

hauteurs des réservoirs.	largeurs des ajutages.	largeurs des tuyaux.
$5^{pi.}$	3, ou 4, ou 5, ou 6 lignes.	22 lignes.
10	4, 5, 6 lignes.	25 lignes.
15	5, 6 lignes.	2 pouces $\frac{1}{4}$.
20	6 lignes.	2 pouces $\frac{1}{2}$.
25	6 lignes.	2 pouces $\frac{3}{4}$.
30	6 lignes.	3 pouces.
40	7, 8 lignes.	4 pouces $\frac{1}{4}$.
50	8, 10 lignes.	5 pouces $\frac{1}{2}$.
60	10, 12 lignes.	5 pouces $\frac{3}{4}$, ou 6 pouces.
80	12, 14 lignes.	6 $\frac{1}{2}$ ou 7 pouces.
100	12, 14, 15 lignes.	7 ou 8 pouces.

89. M. Mariotte dit (page 404) qu'*un réservoir de 5 pieds, ayant un ajutage de 6 lignes, doit avoir le tuyau le plus proche de l'ajutage environ de 2 pouces.* Dans ce cas, le rapport de l'orifice au fond est de 1 à 16. En supposant que la contraction réduise l'orifice aux $\frac{2}{3}$, l'aire de l'orifice réel ou de la veine contractée sera à celle du fond comme $\frac{2}{3} : 16 :: 2 : 48 :: 1 : 24$. Or, par notre théorie, un réservoir de 5 pieds, ayant l'orifice égal à $\frac{1}{30}$ du fond, ne peut fournir qu'un jet de 4 pieds 10 pouces, tandis que, dans

l'expérience de M. Mariotte, l'orifice n'étant que $\frac{1}{24}$ du fond, le réservoir de 5 pieds 1 pouce donne un jet de 5 pieds.

90. Le résultat de cet auteur détruiroit nos principes, si nous n'en trouvions pas l'explication dans le moyen même qu'il a employé. Au lieu de se servir d'un tuyau qui eût par-tout le même diametre, il adaptoit au haut du tuyau, qui portoit la souche, un réservoir (1) ou tambour d'un pied de diametre et d'un pied de hauteur. Or ce réservoir avoit nécessairement beaucoup d'influence sur la hauteur du jet.

En effet, soit le tuyau ACKHIDB (*figure* 21), ayant deux pouces de diametre seulement au-dessous de CD, ayant à sa partie supérieure un tambour ACDB d'un pied de diametre et d'un pied de hauteur, et d'une longueur telle que la ligne verticale, qui exprime la distance du fond IH à l'horizontale AB qui représente le niveau de l'eau, soit de 5 pieds 1 pouce. Il est certain que si le fond IH n'étoit pas percé, la pression qu'il éprouveroit ne dépendroit en aucune maniere de la forme du vase ACKHIDB; mais dès que ce fond est percé d'un orifice, comme toute l'eau renversée dans le vase tombe à la fois, il n'est pas douteux que la vîtesse à l'orifice n'augmente à mesure que le volume d'eau contenu dans le vase sera plus grand. Cette vîtesse ne sera jamais aussi grande que celle qui pourroit être produite par la chûte libre de la hauteur verticale du tuyau; mais elle s'approchera davantage de cette limite à proportion que le vase ACDB (§ 49) aura plus de hauteur, que le tuyau EKHIF aura un diametre plus approchant de CD, et que l'orifice O sera plus petit.

91. En réduisant le tambour et le tuyau qui avoient servi à l'expérience de M. Mariotte (§ 90), à un vase cylindrique de même hauteur et de même capacité, on trouve que ce dernier vase auroit son fond huit fois plus grand que celui du tuyau de deux pouces de diametre. Mais l'orifice, comparé au fond du tuyau

(1) Mouvement des eaux, part. IV. pag. 292.

de deux pouces, n'en étoit que la seizieme partie (en n'ayant aucun égard à l'effet de la contraction): donc, en le comparant au fond du vase, qui est huit fois plus grand, il n'en sera que la $\frac{1}{128}$ partie.

Nous avons remarqué (§ 49) que l'écoulement par deux vases prismatiques ou cylindriques unis de diametre différent, n'étoit pas aussi considérable que par un vase unique de même espece, de même hauteur et de même capacité. Nous avons observé aussi (§ 84) qu'à cause de la contraction qu'éprouvoit la veine fluide à sa sortie, il falloit prendre cette veine même pour l'orifice réel. Ainsi, dans le cas présent, la forme du vase contribue à diminuer la hauteur du jet, tandis que l'effet de la contraction de la veine contribue à l'augmenter. En supposant que ces deux causes se compensent, si on calcule, au moyen de la formule $v = a + \frac{ab}{y}$ (§ 16), et d'après les principes développés ci-devant (§ 80), la hauteur du jet; pour un vase qui auroit cinq pieds un pouce de hauteur, et dans lequel l'orifice seroit au fond absolu comme 1 : 128, on trouveroit que l'élévation théorique du jet seroit de cinq pieds six lignes. Or l'expérience de M. Mariotte donne cinq pieds. Les six lignes de différence peuvent être attribuées à la résistance de l'air et au défaut de mobilité dans les parties de l'eau; mobilité qui ne sauroit être aussi parfaite qu'on le suppose.

92. M. Mariotte a observé qu'en conservant le même tambour au haut du tuyau, et en rendant le tuyau plus long, les jets s'élevoient proportionnellement moins haut. Cet effet est certainement produit en partie par la résistance de l'air; mais cette cause n'est pas la seule, comme l'a pensé M. Mariotte. En effet, à mesure qu'on rend le tuyau plus long, si on réduit le tambour et le tuyau à un vase unique de même hauteur et même capacité; l'orifice, supposé constant, augmentera continuellement par rapport au fond absolu, et la hauteur du jet deviendra par conséquent moins considérable.

93. M. Mariotte a observé aussi (1) que, « sous même hauteur « du tuyau, les jets s'élevoient moins haut lorsqu'on rendoit l'ori- « fice un peu trop grand, et qu'alors l'eau du tambour ou réser- « voir ne pouvoit pas venir assez vîte des côtés qui sont éloignés « du trou pour entrer dans le tuyau, et qu'il s'y faisoit ordinaire- « ment une espece d'entonnoir ». Avec nos principes, ces effets s'expliquent parfaitement.

94. Il suit de ce que nous avons dit (§ § 90, 91), que l'expérience qui a servi à M. Mariotte pour déterminer le diametre nécessaire aux souches, afin que les jets eussent la plus grande hauteur relativement à la hauteur des réservoirs, n'est point exacte. Il auroit été nécessaire que cet auteur eût employé un réservoir qui eût, sur toute sa hauteur, le même diametre, et qu'il eût déterminé celui qui, ayant la plus petite base relativement à un orifice connu, donnât pourtant, dans ce cas, le jet le plus élevé.

95. En général, si on veut que le jet prenne la plus grande hauteur relativement au tuyau de conduite, on donnera à la souche le même diametre qu'au tuyau de conduite; si on diminue son épaisseur, on diminuera essentiellement le jet.

96. En supposant les orifices de même grandeur, ceux qui sont percés dans de minces parois donneront les jets les plus élevés. Les jets qui sortiront d'un ajutage conique s'éleveront moins haut, et enfin ils ne seront jamais plus petits que lorsque l'ajutage sera cylindrique.

Les ajutages coniques et les cylindriques diminuent considérablement la contraction de la veine, et ils fournissent dans le même temps une plus grande quantité d'eau que les orifices percés dans de minces parois (§ 36). Ainsi, en plaçant des ajutages coniques ou cylindriques, on augmente réellement la grandeur de l'orifice, et on diminue théoriquement la hauteur des jets. Le frottement est pourtant alors la principale cause qui altere la hauteur des jets, et

(1) Mouvement des eaux, part. IV. pag. 296.

il est plus considérable dans les tuyaux cylindriques. En effet, à mesure que le jet s'éloigne de l'orifice, son mouvement est retardé par la pesanteur; son diametre augmente par conséquent, sans que le tuyau augmente; le frottement devient nécessairement très considérable, et la retardation que le fluide éprouve vers les bords est nécessairement partagée par les particules du centre du jet à cause de l'adhérence qui les lie.

97. Lorsque les jets sont parvenus à leur plus grande hauteur, l'eau, qui a perdu toute sa vîtesse, tombe sur celle qui s'éleve encore, et en retarde le mouvement. Cette cause influe de la même maniere sur tous les jets; et on observe que, lorsqu'ils sont un peu inclinés, ils s'élevent un peu plus que quand ils sont exactement verticaux.

98. En supposant constant le diametre d'un réservoir prismatique droit, ainsi que le rapport de la surface du fond absolu à celle de l'orifice; si on fait la hauteur de ce réservoir successivement de 5, 10, 15, 20, etc. pieds, on trouvera, par la formule $x = \frac{ay^2 - ab^2}{y^2}$ (§ 15), la hauteur correspondante du prisme d'eau qui sortira du vase entretenu toujours plein, dans le temps que ce vase auroit mis à se vuider, si l'orifice eût été égal au fond absolu.

L'orifice étant $\frac{1}{30}$ du fond absolu, le fond réel sera égal aux $\frac{29}{30}$ du fond absolu. Ainsi $\frac{b}{y} = \frac{29}{30}$, et $\frac{b^2}{y^2} = \frac{841}{900}$. D'après ces données, on construira aisément la table suivante.

hauteurs du réservoir en pieds.	valeurs de $x = a - \frac{ab^2}{y^2}$ en pieds.
$a = 1$ pieds.	$x = \frac{59}{900}$ pieds.
$a = 5$	$x = \frac{59}{180}$
$a = 10$	$x = \frac{118}{180}$
$a = 15$	$x = \frac{177}{180}$
$a = 20$	$x = 1\frac{14}{45}$
$a = 30$	$x = 1\frac{87}{90}$
$a = 40$	$x = 2\frac{28}{46}$
$a = 60$	$x = 3\frac{42}{45}$
$a = 100$	$x = 6\frac{5}{9}$

99. Il suffit de regarder la formule $x = a - \frac{ab^2}{y^2}$ pour être convaincu qu'en prenant les hauteurs du réservoir en progression arithmétique, les valeurs de x seront aussi en progression arithmétique.

100. Si le réservoir a 5 pieds de hauteur, et si le rapport de l'orifice au fond absolu est exprimé par $\frac{1}{30}$, l'eau qui est contenue dans le réservoir ne s'abaissera que de $\frac{59}{180}$ de pied, ou de 3 pouces 11 lignes $\frac{1}{5}$, dans le même temps qu'elle descendroit librement de la hauteur du réservoir, si l'orifice étoit égal au fond absolu. Mais le temps nécessaire à un corps pour tomber librement de la hauteur de 5 pieds, est, à très peu près, de $\frac{4}{7}$ de seconde. Il ne faudra donc que ce temps à l'eau du réservoir pour acquérir la vîtesse de 3 pouces 11 lignes $\frac{1}{5}$; et lorsqu'elle l'aura acquise, le mouvement du fluide dans le vase, s'il est entretenu constamment plein, restera sensiblement uniforme.

101. Si la hauteur du réservoir étoit de 100 pieds, et si le rapport de l'orifice au fond absolu étoit aussi exprimé par $\frac{1}{30}$; le temps nécessaire à un mobile pour tomber librement de la hauteur de 100 pieds est de 2,58 secondes. Dans le même temps, l'eau du réservoir descendra de $6\frac{5}{9}$ de pied; mais lorsqu'elle sera parvenue à cette vîtesse, son mouvement ne changera plus en entretenant le vase toujours plein.

102. Comme l'eau, en sortant par de petits orifices, éprouve une contraction considérable, et comme l'effet de cette contraction est de diminuer beaucoup la grandeur de l'orifice apparent, il suit que le mouvement uniforme qu'acquiert l'eau d'un réservoir prismatique droit entretenu toujours plein, doit être réglé sur l'orifice réel ou sur la veine contractée, et non pas sur l'orifice apparent. Ainsi, par exemple, en supposant l'orifice apparent $\frac{1}{30}$ du fond absolu, si la veine contractée est les $\frac{2}{3}$ (1) de l'orifice apparent, l'orifice

(1) Nous supposons que l'aire de la veine contractée est les $\frac{2}{3}$ de celle de l'orifice; mais nous n'adoptons cette détermination que comme une approximation qui peut être suffisamment exacte dans les cas où l'orifice est fort

réel

réel ne sera que le $\frac{1}{45}$ du fond absolu, et ce sera d'après ce dernier rapport qu'il faudra déterminer l'accélération qu'éprouvera l'eau dans le réservoir.

103. On observe, lorsqu'on fait aller un jet d'eau, qu'il ne s'éleve pas d'abord à la hauteur à laquelle il parvient ensuite. On voit bien clairement la raison de cet effet lorsqu'on a suivi nos principes; et il est évident que cet effet doit être plus apparent dans les grands jets que dans les petits, parcequ'il faut plus de temps à l'eau des réservoirs, dans le premier cas, pour acquérir la vîtesse la plus grande à laquelle elle puisse parvenir, et ce n'est qu'alors que le jet a la plus grande élévation.

104. En supposant les diametres du réservoir et de l'orifice constants, et en faisant varier la hauteur du réservoir, on trouve, pour chaque hauteur, que l'eau éprouve une accélération différente, et que la vîtesse qu'elle peut acquérir avant de parvenir à l'uniformité augmente avec la hauteur du réservoir. Pourtant, lorsque l'orifice est petit, l'accroissement de vîtesse de l'eau du réservoir n'est pas assez rapide, même dans les grands jets, pour occasionner, comme le dit M. Mariotte, des frottements considérables. En effet, en supposant la hauteur du réservoir de 100 pieds, et l'orifice $= \frac{1}{31}$ du fond, l'eau du réservoir s'abaisse de $6\frac{5}{9}$ pieds dans 2,58 secondes de temps: or cette vîtesse n'est pas bien grande.

En conservant la hauteur du réservoir de 100 pieds, et en faisant l'orifice $= \frac{1}{60}$ du fond, l'eau du réservoir s'abaissera de $3\frac{11}{36}$ pieds dans 2,58 secondes de temps.

On voit par-là que, lorsqu'on a construit une table (§ 98) pour un cas où l'orifice est déja assez petit par rapport au fond absolu, on peut, avec la plus grande facilité, déterminer la grandeur du réservoir relative à telle vîtesse uniforme qu'on voudra choisir.

---

petit. Nous répétons que la loi selon laquelle la contraction de la veine augmente est inconnue. Elle varie certainement selon le rapport de l'orifice apparent au fond absolu; peut-être aussi est-elle encore modifiée selon la hauteur des réservoirs.

105. Si, en conservant le même orifice, on veut diminuer la vîtesse dans le réservoir, il faudra augmenter le fond absolu, ou la quantité d'eau contenue dans le réservoir, dans le rapport que la vîtesse qu'on choisit est plus petite que celle que la table donne. Si, par exemple, on veut que, dans un réservoir de 100 pieds de hauteur, le mouvement uniforme de l'eau ne soit que d'un pied dans le temps qu'un corps, en tombant librement, parcourroit ces 100 pieds; on trouve dans la table que, lorsque le fond est trente fois plus grand que l'orifice, la vîtesse uniforme pour la même hauteur du réservoir est de 6 pieds $\frac{5}{9}$. On fera donc la proportion 30 : O :: 1 : 6 $\frac{5}{9}$, d'où on tirera O = 196 $\frac{2}{3}$: ce qui indique qu'il faudra que l'orifice soit $\frac{1}{197}$ environ du fond absolu, pour que la vîtesse dans le réservoir soit réduite à un pied dans 2,58 secondes de temps.

106. Cette regle suppose que, sous même hauteur du réservoir, des orifices de différentes grandeurs font des dépenses relatives aux surfaces de ces orifices, et que, lorsqu'ils sont égaux, les dépenses sont les mêmes: mais cela n'est sensiblement vrai que lorsqu'on compare des cas où l'orifice est déja fort petit par rapport au fond. Cependant si on vouloit une détermination plus rigoureuse, la formule $x = a - \frac{ab^2}{y^2}$ la fourniroit dans tous les cas possibles.

Dans l'exemple précédent, $x = 1$ pied, $a = 100$ pieds. On aura donc $1 = 100 - \frac{100b^2}{y^2}$, et par conséquent $\frac{b^2}{y^2} = \frac{99}{100}$. En extrayant les racines $\frac{b}{y} = \frac{9,95}{10,00}$, le rapport de b à y exprime celui du fond réel au fond absolu, et la différence entre b et y donnera la grandeur de l'orifice. Or $10,00 - 9,95 = 0,05$. Le rapport de l'orifice au fond absolu sera donc exprimé par $\frac{0,05}{10,00}$, ou par $\frac{5}{1000} = \frac{1}{200}$, ce qui ne differe pas beaucoup de $\frac{1}{197}$.

Le lecteur aura les égards convenables relativement à la contraction de la veine, ainsi je ne m'y arrête pas.

107. Lorsqu'il sera question de former un jet d'eau, on s'atta-

chera d'abord à connoître avec exactitude la quantité de ce fluide dont on peut disposer dans un temps déterminé. On aura soin essentiellement, lorsque le jet doit être élevé, de donner à l'orifice 12 ou 15 lignes de diametre; sans cette attention, l'eau en s'élevant seroit bientôt éparpillée par l'action de l'air. Mais si la quantité d'eau qu'on peut dépenser, la hauteur du réservoir, et la grandeur de l'orifice, sont déterminées; on pourra donner un grand nombre de valeurs différentes au diametre du réservoir, sans qu'on ait des résultats sensiblement différents. On procurera à son gré à l'eau du réservoir telle vîtesse uniforme qu'on voudra.

Si les jets sortent par des orifices percés dans de minces parois, il suffira, même pour ceux qui doivent s'élever davantage, que l'orifice soit $\frac{1}{30}$ du fond absolu; d'autant mieux qu'à cause de la contraction de la veine, l'écoulement se fera comme si l'orifice étoit, dans ce cas, $\frac{1}{45}$ du fond. Dans les petits jets on pourra se contenter de faire l'orifice $= \frac{1}{20}$ du fond absolu, parceque l'effet de la contraction réduit alors cet orifice à $\frac{1}{30}$ du fond absolu.

108. Nous avons supposé jusqu'à présent que les tuyaux où l'eau étoit renfermée pour entretenir les jets avoient une situation verticale; mais ce cas ne se présente pour ainsi dire jamais. Dans l'usage ordinaire, les tuyaux de conduite ont leur origine dans un réservoir; mais, cachés ensuite sous la terre, ils s'étendent, sur une inclinaison plus ou moins grande, jusqu'à l'endroit où les ajutages sont établis. Les gerbes que l'eau forme en s'élevant doivent exciter la surprise du spectateur. Quelque magnifiques qu'elles fussent, elles perdroient tout leur prix si le même coup-d'œil pouvoit embrasser la hauteur et le diametre des tuyaux qui les fournissent: mais en inclinant les tuyaux et en rendant les jets plus agréables, ne diminue-t-on pas leur élévation?

Les tuyaux inclinés s'obstruent beaucoup plus facilement que les verticaux. S'ils sont disposés sur des pentes inégales, l'air se logera dans les inflexions qu'ils éprouveront, et contribuera beaucoup à diminuer le diametre réel des eaux. Ces causes sont très

propres à altérer la hauteur des jets; mais il est impossible d'en déterminer les effets avec quelque exactitude. Nous avouons, et nous l'avons déja insinué, que, dans l'usage, toutes les subtilités de calcul que nous avons exposées ne donnent pas des résultats rigoureux. Nous ne nous y sommes arrêtés que parceque nous avons regardé comme essentiel de marquer les limites que la théorie promet, et le degré de confiance que méritent les regles qu'on trouve sur cette matiere dans les ouvrages d'hydraulique.

SECTION X.

Des jets inclinés.

109. Si on a des vases prismatiques droits, et si on donne à l'orifice des directions différentes de la verticale, l'eau obéira alors à deux mouvements : l'un uniforme, et qui dépendra de la hauteur du vase et du rapport de l'orifice au fond absolu ; l'autre mouvement sera celui de la pesanteur. En vertu de ces deux mouvements, les jets seront courbés en paraboles, en faisant abstraction de la résistance de l'air.

On démontre, dans tous les livres de méchanique, que, de quelque maniere qu'un corps décrive une parabole, la force qui le pousse uniformément peut être exprimée par une ligne CB (*fig.* 23) verticale, égale à la hauteur où il seroit monté si cette même force l'avoit poussé perpendiculairement en haut.

On y démontre encore que la verticale CB, qui exprime la force du jet, est le quart du parametre P du diametre CI, commun à toutes les paraboles possibles que le corps peut décrire en vertu de cette force.

Or, lorsque l'orifice peut être considéré comme infiniment petit par rapport au fond, la verticale CB sera la même chose que la hauteur du réservoir; par conséquent alors le parametre de toutes les paraboles que le jet peut décrire sera égal au quadruple de la hauteur du réservoir.

Si au contraire l'orifice ne peut pas être considéré comme infiniment petit par rapport au fond, il faut déterminer, d'après la vitesse de l'eau à l'orifice, la hauteur (§ 18) qui pourroit produire cette vitesse; et ce seroit le quadruple de cette hauteur qui détermineroit le parametre de toutes les paraboles.

110. Si la résistance de l'air n'altéroit pas rapidement la forme et la direction des jets, on pourroit leur appliquer les regles ordinaires du mouvement des corps qui obéissent à la fois à la pesanteur et à une force uniforme: mais on ne sauroit rien dire sur cet objet qui fût susceptible de quelque exactitude ni de quelque utilité.

SECTION XI.

De la pression de l'eau dans l'état d'équilibre et de repos.

111. Dès que l'expérience eut appris que les fluides en repos prennent une situation horizontale, la pression qu'ils exercent en tout sens en raison des bases et de l'élévation de leur surface, devenoit une conséquence immédiate de ce premier principe. Soit un vase ABCD (*figure* 24). Imaginons sur la face BD une ouverture E, et qu'on adapte à cette ouverture un tuyau cylindrique ou conique, ou évasé par le haut: dans ces différents cas, l'eau se mettra de niveau dans le vase et dans le tuyau. Il suit de là que la force nécessaire pour soutenir l'eau renfermée dans le tuyau ne dépend que de la grandeur de l'ouverture et de l'élévation du niveau de l'eau. Un piston placé en E seroit également pressé par l'eau du vase et par celle du tuyau. En supprimant le tuyau, le piston placé en E, ou la partie correspondante des parois du vase, soutiendroit donc un poids égal à celui d'une colonne d'eau qui auroit pour base ce piston et pour hauteur l'élévation moyenne du niveau de l'eau.

112. Si on avoit un vase prismatique droit plein d'eau avec quatre faces égales à ABCD, dont le fond fût un quarré formé sur CD, et dont la hauteur AC fût double de CD; le fond seroit pressé de tout le poids de l'eau contenue dans le vase; et chacune de ses faces

supporteroit un poids égal à celui d'un prisme d'eau qui auroit pour base la moitié de chaque face et pour hauteur AC. Ainsi chaque face soutiendroit un poids égal à celui que porte le fond; et la totalité de l'action de l'eau seroit, dans ce cas, quintuple de celle que pourroit exercer un corps solide également pesant.

113. Nous avons dit que le poids soutenu par la face ABCD étoit égal à celui d'un prisme d'eau qui auroit pour base la moitié de la surface de cette face et pour hauteur AC: mais il n'est pas inutile pour quelques lecteurs de rappeller le principe, et de remarquer que cette pression n'est pas exercée sur toutes les parties de la face ABCD de la même maniere. En divisant cette face en parties égales fort petites, et ayant pour base des paralleles à CD, la pression exercée sur chacune de ces parties diminue dans le même rapport que leur distance au niveau de l'eau. Elle est la plus grande au fond du vase, et nulle à la surface.

114. La capacité du vase n'influe en aucune maniere sur la pression qu'éprouvent ses faces. Que cette capacité soit immense ou fort petite, la pression sera la même si le niveau de l'eau se soutient à la même hauteur.

Il suit de là que, lorsqu'on a un volume d'eau déterminé qu'on veut réunir dans un bassin de la maniere la plus économique, il faut élever les murs du réservoir sur une base circulaire, parceque, de toutes les figures de même contour, le cercle est celle qui renferme plus d'espace.

SECTION XII.

De la pression de l'eau dans l'état de mouvement.

115. La direction du mouvement de l'eau peut être, relativement à l'horizon, ou perpendiculaire, ou parallele, ou inclinée de différentes manieres. Ces cas doivent être distingués.

Premier cas. Pour les corps solides dans l'état de repos, l'action qu'il faut opposer à celle de la pesanteur pour la vaincre doit être dirigée verticalement. Les molécules qui composent ces corps sont

adhérentes ; et elles ne forment qu'une même masse. Ainsi, par exemple, si on appuie un pied cubique de marbre ou de plomb sur une base CD (*figure* 25) d'un pied quarré, il ne sera pas nécessaire de soutenir ce corps par les côtés ; mais si on réduit ce corps en poussiere, et si on donne à ses éléments une figure qui leur procure beaucoup de mobilité, on ne pourra plus disposer cette poussiere sur la base CD comme elle l'étoit auparavant : on ne pourra lui faire prendre qu'une forme conique dont l'élévation sera encore d'autant plus petite, que la mobilité de chaque élément sera plus grande ; et si on veut réunir ces éléments sous une forme cubique, il faudra élever des faces AC, BD, pour les contenir. Or ces faces éprouvent visiblement une pression, puisque sans elles une partie plus ou moins considérable des éléments en question s'ébouleroit. Cette pression latérale ne diminue pas celle que supporte le fond ; car, en rendant ce fond mobile, la force P, nécessaire pour soutenir le pied cubique de plomb, sera la même, soit que le plomb soit massif, soit qu'il soit réduit en grenailles, puisque son poids est le même dans les deux cas.

116. On voit ainsi que la pression exercée dans des sens différents de celui de la pesanteur n'est pas une action qui soit particuliere aux fluides ; on suit aisément sa génération ; on conçoit qu'elle dérive de la mobilité et de l'action réciproque des parties qu'on s'efforce de réunir, et qu'elle a toute son intensité lorsque cette mobilité est parfaite.

La pression que l'eau exerce est complete ; elle a lieu dans tous les sens, et elle nous donne ainsi une idée de l'extrême mobilité des parties dont elle est composée. Cette pression est l'effet de la pesanteur répété d'une maniere égale sur des parties différentes de même étendue, pourvu qu'elles soient également éloignées de la surface du fluide.

117. La pesanteur n'est pas une force uniforme : son intensité augmente en raison inverse du quarré des distances au centre de la terre ; elle est plus grande au niveau de la mer qu'au sommet

des montagnes, plus grande au pôle que sous l'équateur. La pression exercée par l'eau éprouve les mêmes variations que la pesanteur.

Quoique notre position sur la terre ne nous permette pas d'observer des différences bien grandes dans l'action de la pesanteur, nous pouvons pourtant disposer les fluides de maniere qu'ils puissent éprouver toutes les modifications dont l'intensité de la pesanteur est susceptible, et de maniere par conséquent qu'ils exercent tel degré de pression qu'on voudra choisir.

118. On peut également avoir en vue d'augmenter ou de diminuer l'intensité de l'action actuelle et ordinaire de la pesanteur. Nous pourrons nous occuper du premier objet dans la suite : c'est du second que nous allons traiter à présent.

Lorsque la pesanteur devient nulle, les particules d'eau cessent d'agir les unes sur les autres. Toute pression est anéantie avec la cause qui la produisoit. Or si un volume d'eau quelconque obéit librement à la pesanteur, l'état relatif de toutes les particules d'eau est le même que si la pesanteur n'agissoit pas sur elles. Le même mouvement les anime ; et quoique contiguës, elles n'exercent pas plus d'action les unes sur les autres que si elles étoient séparées par une distance quelconque. Si donc on a un vase prismatique droit de 15 pieds de hauteur rempli d'eau, et si on imagine que le fond soit subitement anéanti, le fluide obéira librement à la pesanteur, et la pression que les parois du vase éprouvoient lorsque le fond subsistoit, n'aura plus lieu.

119. En supposant au fond réel une étendue aussi petite qu'on voudra par rapport au fond absolu, l'eau dans le vase n'obéira plus librement à la pesanteur ; et en entretenant le vase toujours plein, les parties supérieures auront une action sur les inférieures. Les parois du vase éprouveront donc une pression ; mais il sera aisé de la déterminer, dès que le rapport du fond réel au fond absolu sera fixé.

Si, par exemple, le fond réel étoit la millieme partie du fond absolu,

absolu, le poids de l'eau que soutiendroit le fond du cylindre ne seroit que la millieme partie de celui du fluide que le vase renfermeroit. La pression qui seroit exercée seroit la même que si le vase étoit rempli d'eau en repos, et si la pesanteur étoit diminuée au point que le volume du fluide contenu dans le vase ne pesât que la millieme partie de ce qu'il pese réellement.

120. Comme on peut concevoir que le fond réel passe par toutes les valeurs possibles avant d'être égal au fond absolu, et comme le rapport du fond réel au fond absolu représente celui du poids de l'eau soutenue dans le vase au poids absolu de tout le fluide que le vase contient, il suit qu'on peut, ainsi que nous l'avons annoncé, évaluer avec la plus grande facilité la pression que peut éprouver tout vase prismatique droit, dès que le rapport du fond réel au fond absolu sera connu.

121. Nous avons remarqué déja que la surface de l'eau dans un vase entretenu toujours plein ne restoit pas horizontale, lorsque l'orifice avoit une aire un peu considérable relativement à celle du fond. Il se forme alors un entonnoir vis-à-vis de l'orifice : ce qui annonce que le fluide, qui répond immédiatement au-dessus, a plus de facilité à s'échapper que les colonnes voisines n'en ont à le remplacer. Aussi la pression contre les bords doit être toujours plus grande que celle que nous avons fixée dans les numéros précédents, et il est impossible de l'évaluer avec quelque exactitude, dès que l'orifice a une étendue un peu considérable relativement au fond. Lorsque l'orifice est $\frac{1}{30}$, ou $\frac{1}{20}$, ou $\frac{1}{10}$ même du fond absolu, la pression est la même que si l'eau étoit en repos dans le vase. Je me suis assuré de cela en plongeant près des bords un tuyau de verre cylindrique : l'eau s'y élevoit et s'y soutenoit au niveau de celle du vase.

Si on vouloit déterminer par l'expérience la pression que peut exercer l'eau sur les bords d'un vase entretenu toujours plein, quel que fût le rapport de l'orifice au fond absolu, il faudroit adapter au bas du vase, près du fond réel, un tuyau de verre recourbé : l'élévation que l'eau conserveroit dans ce tuyau détermineroit l'intensité de la pression.

122. *Second cas.* Si le vase est prismatique et incliné, et si le fond est fermé avec exactitude, la pression que l'eau exercera sur les diverses parties de ce vase sera la même que celle qui seroit exercée sur un autre vase prismatique droit de même base et de même hauteur. Ainsi, en environnant avec un fil le vase de maniere que l'espece de section qu'il formeroit fût parallele à la base, tous les points qui seront sous le fil seront également pressés. Si on forme une ceinture telle que LGHM (*figure* 26) sur chacune des faces du vase incliné, elle soutiendra une pression égale à celle qu'une ceinture IKNO de même largeur et semblablement placée éprouveroit sur un vase prismatique droit de même base et de même hauteur.

123. Mais si le fond REFC (*figure* 27) du vase est subitement anéanti, la pression n'aura plus, à beaucoup près, lieu comme lorsque l'eau étoit dans l'état de repos; la face AORE cessera d'être pressée; la face DCFB supportera un poids qui sera au poids absolu de l'eau comme la largeur du plan incliné est à sa longueur; les faces AEFB, ORCD, éprouveront l'une et l'autre des pressions égales que nous apprendrons bientôt à évaluer.

124. Si, du point A (*figure* 28) pris sur la direction de l'arête AE, on abaisse une ligne verticale AS, le point S ne sera pas pressé de tout le poids de la colonne correspondante AS, mais seulement de cette colonne diminuée dans le même rapport que AV est moindre que AS.

Tous les points, depuis S jusqu'en F, sur toute l'étendue de la face BFCD (*figure* 27), seront également pressés.

Tous les points, depuis S jusqu'en B (*figure* 28), seront également pressés, et le poids de chaque colonne qui répondra au-dessus sera égal à celui de cette colonne multipliée par $\frac{AV}{AS}$.

Tous les points qui se trouveront placés sur la même ligne droite parallele à AE, depuis F jusqu'en S, seront également pressés; mais cette pression sera égale à la pression absolue multipliée par $\frac{AV}{AS}$.

125. Si, par *surface de l'eau*, on entend la partie de ce fluide qui forme la partie la plus élevée de la masse d'eau qui est appuyée sur le plan incliné, alors la surface sera terminée par la ligne EAB qui est en partie parallele au plan et en partie parallele à l'horizon.

En effet, la surface de l'eau sera nécessairement terminée par les droites EA et AB, si les parties qui sont au-dessus et au-dessous de AS restent en équilibre à mesure que toute la masse d'eau obéira à la force accélératrice qui l'entraîne le long du plan incliné. Or, en tirant RO parallèlement à EA, tous les points situés sur cette droite éprouveront la même pression; et cette pression pourra être représentée par $IO \times \frac{AV}{AS}$. Si, par le point D, on mene une ligne DN parallèlement à AB, un point x quelconque sera pressé par une colonne $= Px \times \frac{AV}{AS}$. Comme $Px = AD = IO$, il suit que la pression qu'éprouvent les points O, D, S, dans l'instant où toute l'eau descend le long du plan incliné, est la même. Les colonnes IO, AD, Px, sont donc en équilibre; la surface de l'eau doit donc rester terminée par les droites AE et AB.

126. Après avoir marqué l'état où doit rester l'eau à l'extrémité supérieure du canal, il faut examiner la forme que ce fluide doit prendre à l'extrémité inférieure.

Nous avons dit qu'en même temps que toutes les particules d'eau obéissoient à la force accélératrice qui les poussoit le long du plan incliné, toutes les parties comprises entre F et S (*figure* 29) étoient également pressées; que la pesanteur étoit diminuée dans le rapport de AS à AV; et que l'état d'équilibre exigeoit que les extrémités de toutes les colonnes verticales, telles que AS, qui s'élevoient le long de FS, fussent sur une même ligne droite AO.

Il est évident, en considérant une colonne telle que MN qui a au-dessus et au-dessous d'elle des colonnes égales, qu'il n'y a aucune cause qui puisse altérer sa forme, et que dans cet état elle ne doit obéir qu'à la force accélératrice qui la pousse le long du plan incliné. Mais il n'en est pas de même de la derniere colonne OF;

elle est pressée par les colonnes qui sont au-dessus, sans que rien contrebalance leur action: or cette action est plus forte vers la partie inférieure, et va toujours en s'affoiblissant à mesure qu'on s'approche d'O. L'eau, en vertu de la pression, s'écroulera en OF: alors la vîtesse produite par la force accélératrice le long du plan incliné sera modifiée et augmentée subitement par la pression.

127. Cependant l'écroulement ne sera nulle part plus grand qu'en OF; et comme il ne peut s'échapper par-là que la même quantité d'eau qui entre dans le même temps en AB sur le plan incliné, la section de l'eau qui passera par OF sera à une autre section telle que NM réciproquement comme les vîtesses respectives de ces sections.

Plus la pente est grande, plus la vîtesse naturelle de l'eau l'est aussi; et plus en même temps la pression est foible, l'écroulement est aussi moins considérable, et s'étend moins loin.

La pente restant la même, plus la hauteur de l'eau sera considérable, plus la vîtesse produite par la pression sera grande, et plus par conséquent l'écroulement s'étendra loin.

La hauteur de l'eau restant la même sur le plan incliné, moins le plan sera incliné, moins la vîtesse produite par cette inclinaison sera grande, plus la pression augmentera, et plus par conséquent l'effet de l'écroulement sera grand et s'étendra loin.

Nous déterminerons dans la suite, pour tous les cas, la limite des écroulements, ou la position de la derniere section NM qui n'a encore que la vîtesse produite par l'inclinaison du plan. Dans les canaux horizontaux, cette limite se trouve distante du plan de la derniere section d'une quantité égale à la hauteur de cette même section.

128. Il est évident que, dans l'instant où le fond est anéanti, le mouvement de l'eau le long du plan incliné est peu considérable, et qu'il ne s'accélere que successivement; mais l'effet de la pression est toujours le même. Ainsi, au commencement du mouvement, l'écroulement est plus considérable que lorsque l'eau a acquis toute

la vîtesse que sa chûte le long du plan incliné peut lui procurer.

En supposant le vase ou le plan incliné fort long, à mesure qu'il se vuide, l'eau qui y reste s'accélere toujours plus, et la limite NM de l'écroulement s'approche toujours davantage de OF. Mais quoique la vîtesse augmente à mesure que l'eau a parcouru un plus grand espace sur le plan incliné, comme toutes les parties de ce fluide s'écoulent de la même maniere et ont toutes dans le même instant la même vîtesse, la surface au-dessus de NM restera parallele au fond.

129. L'état des choses changera, si, à mesure que AB s'abaisse, on met de nouvelle eau pour remplacer celle qui s'est échappée: la vîtesse de ce fluide ira alors en s'accélérant; la hauteur de la section AS sera la plus grande, et les hauteurs des autres sections seront en raison inverse des vîtesses dont elles seront animées. Dans ce cas, l'écroulement s'étendra moins loin à proportion que la vîtesse acquise à l'extrémité du plan incliné sera plus grande, tant à cause de cette vîtesse, que parcequ'elle rendra la hauteur des sections au voisinage de OF plus petite.

Si la hauteur des sections va toujours en diminuant, la pression que soutiendra le fond correspondant à une section quelconque sera égale à la pesanteur absolue de cette section multipliée par $\frac{AV}{AS}$.

130. Lorsque la vîtesse de chaque section augmente toujours en approchant de OF, il est évident que les sections inférieures ne sauroient éprouver la pression des supérieures. Nous avons vu aussi que, lorsque la vîtesse de toutes les sections étoit la même, la pression des sections supérieures sur les inférieures n'avoit pas lieu. Nous avons remarqué seulement qu'il se formoit un écroulement en OF; mais cet écroulement ne s'étend pas loin: d'ailleurs, si, au lieu d'imaginer qu'il y ait une cataracte ou chûte à l'extrémité du canal incliné, on y suppose un réservoir où l'eau soit horizontale, la cause de l'écroulement sera détruite.

Il est donc évident que le principe de Galilée, qui attribue la

vîtesse des eaux, à l'extrémité d'un canal, à la pression des eaux supérieures, est entièrement imaginaire.

131. Quelle que soit la vîtesse dont l'eau est animée en coulant le long d'un plan incliné, soit qu'elle descende, soit qu'elle s'éleve, dans tous les cas, et dans tous les points où la hauteur d'une section sera la même, la pression exercée sur ces points sera aussi la même : car l'effet du plan incliné est de modifier la pesanteur ; et la pression qui résulte de la partie de la pesanteur qui est conservée par le plan incliné, subsiste essentiellement, pourvu que la vîtesse dont l'eau est animée, soit qu'elle soit acquise, soit qu'on la lui ait imprimée, n'ait lieu que selon la direction du plan incliné.

132. *Troisieme cas.* S'il coule de l'eau sur un fond horizontal, et si la surface de ce fluide est parallele au fond, quelle que soit sa vîtesse, la pression exercée contre ce fond sera la même que si l'eau reposoit tranquillement au-dessus de ce fond. En effet, l'eau est animée de deux forces : l'une produit sa vîtesse horizontale ; et l'autre, qui est la pesanteur, ne peut lui procurer aucune vîtesse. Le fond supporte donc tout le poids de l'eau qui est au-dessus. Ce fluide se renouvelle continuellement ; mais comme sa masse est toujours la même, la pression qu'elle exerce ne change pas.

La pression auroit lieu de la même maniere, si les vîtesses de l'eau, à différentes profondeurs, étoient différentes ; car ces vîtesses, quelque variées qu'elles fussent, n'altéreroient jamais l'action de la pesanteur. Il est donc nécessaire, pour que les diverses sections de l'eau soient en équilibre, selon que ce fluide coule sur un plan horizontal, ou qu'il descend sur un plan incliné, que la surface de l'eau soit horizontale dans le premier cas, et parallele au plan incliné dans le second.

SECTION XIII.

Loix de la vîtesse de l'eau lorsqu'elle coule par de grandes ouvertures formées sur les faces verticales des vases, et examen de la théorie établie par les auteurs qui ont écrit sur l'hydraulique.

133. Si on a deux vases prismatiques droits de même hauteur entretenus constamment pleins, et dont les capacités soient entre elles dans un rapport donné; si les surfaces des orifices respectifs sont entre elles dans le même rapport que les deux capacités des deux vases, ou, ce qui est la même chose, comme les bases de ces deux vases, attendu qu'ils ont la même hauteur; la vîtesse de l'eau, dans les deux cas, sera la même, soit dans les vases, soit à l'orifice. La grandeur des orifices ne sauroit rien changer aux loix que nous avons développées (§ 15), en faisant abstraction de la résistance de l'air, en supposant que la surface supérieure de l'eau restât toujours horizontale, etc. Car la vîtesse de l'eau n'est point relative à la grandeur des orifices, mais au rapport de l'aire de ces orifices au fond absolu.

134. Nous avons dit que, lorsque les orifices étoient fort petits, l'eau en sortoit avec la même vîtesse, soit qu'ils fussent percés sur un fond horizontal, soit qu'ils le fussent sur les faces verticales des vases (§ 78). Cela n'étoit pas rigoureusement vrai: car, dans ce dernier cas, les parties les plus basses de l'orifice éprouvoient dans l'état d'équilibre une plus grande pression que les supérieures; et lorsque l'orifice étoit percé, la vîtesse des parties inférieures étoit plus grande que celle des supérieures. Si l'expérience ne montroit pas des différences dans le cas dont il est question, c'est qu'on employoit des vases d'une hauteur fort considérable relativement à celle de l'orifice. Mais il est évident qu'à proportion qu'on rendra plus grandes les ouvertures formées sur les faces verticales des vases, les résultats s'écarteront davantage de la regle que nous avions prescrite.

135. Si, dans le vase de la *figure* 30, on prend sur chacune des

faces une étendue telle que la pression qui y est exercée soit égale au quart de la pression que supporte le fond, si on imagine que ces quatre portions des faces, qui entre elles éprouvent la même pression que le fond, soient subitement anéanties, et si enfin l'écoulement de l'eau est le même lorsque la pression qu'elle exerce est la même, l'eau du vase tombera aussi librement par ces quatre ouvertures que si le fond étoit anéanti.

136. On voit aisément que la position et la forme des ouvertures qu'on peut pratiquer sur chacune des faces pour soutenir la même pression que le fond peuvent varier à l'infini; mais il est évident aussi que leur surface ne sera jamais plus petite que lorsqu'elles auront, pour une de leurs dimensions, la largeur même de chaque face prise près du fond.

137. Au lieu de faire des ouvertures sur chaque face, on peut n'en faire que sur trois, que sur deux, et même que sur une. Mais il est évident encore qu'en plaçant ces ouvertures dans l'endroit le plus favorable, et en supposant toujours qu'elles éprouvent la même pression que le fond; il est évident, dis-je, qu'on sera forcé de leur donner une surface plus grande à mesure qu'on la formera sur un nombre de faces moindre.

En faisant, dans le vase de la *figure* 30, $EB = a$, $ED = b$, et $EP = c$, le fond supportera un poids qui pourra être représenté par abc.

Pour déterminer sur la face ADEB une étendue qui éprouve la même pression que le fond, je tire une ligne $BE = a$ (*figure* 31); j'élève à son extrémité $EM = BE$, et je joins les points B et M par la droite BM. Il est évident que le point E supporte le poids de la colonne BE, et le point V le poids de la colonne BV. Il est évident encore que tous les points pris sur la face ABDE, qui seront également éloignés de AB, éprouveront la même pression. On sait aussi que l'expression de la pression exercée sur une étendue telle que VE, peut être représentée par le produit de VE par une hauteur moyenne entre VN et $EM = BE - \frac{VE}{2}$. La pression exercée sur

sur toute la longueur de DE et sur la hauteur VE pourra donc être représentée par $DE \times VE \times \overline{BE - \frac{1}{2} VE}$. Si on suppose que la pression exercée sur la face verticale soit égale à celle du fond, et si on fait $VE = x$, on aura $b \times x \times \overline{a - \frac{1}{2} x} = abc$, $2abx - bx^2 = 2abc$, d'où on tire $x = a \pm \sqrt{a^2 - 2ac}$. De ces deux valeurs de x il n'y a que celle qui est égale à $a - \sqrt{a^2 - 2ac}$ qui soit relative à la question proposée.

Si on veut avoir la valeur de x pour la face BEPN, on aura l'équation $2acx - cx^2 = 2abc$, et on en tirera $x = a - \sqrt{a^2 - 2ab}$. En faisant $a = 10$ pieds, $b = 3$ pieds, et $c = 1$ pied, on aura, pour la face ABED, ... $x = 10 - \sqrt{80} = 1,06$ pieds; et, pour la face BENP, $x = 10 - \sqrt{40} = 3,68$ pieds.

138. Nous allons développer ce qui peut se présenter de plus important dans l'écoulement de l'eau par des ouvertures faites sur des faces verticales de vases prismatiques droits; nous rapporterons d'abord une théorie qui réduit le cas où les orifices sont verticaux, à celui où ils sont percés sur un fond horizontal, et nous ajouterons ensuite des remarques propres à rectifier cette théorie.

139. Supposons que le vase de la *figure* 30 soit prismatique droit, que sa base soit un parallélogramme rectangle, que sa hauteur BE = 10 pieds, sa largeur DE = 3 pieds, et son épaisseur EP = 1 pied. En formant sur la face ABED un parallélogramme XVDE, dont la hauteur VE = 1,06 pieds, le parallélogramme éprouvera une pression égale à celle du fond (§ 137); et si les écoulements se font, comme nous l'avons supposé, avec une facilité égale, lorsque les orifices supporteroient des pressions égales, en anéantissant le parallélogramme XVDE, l'eau qui est au-dessus de XV tombera aussi librement que si le fond horizontal étoit détruit.

140. Il suit de là qu'en faisant VE plus grand que 1,06 pieds, on ne rendra pas l'écoulement plus facile, la vîtesse que la pe-

santeur donne lorsqu'elle agit librement étant constante.

141. Il suit de là encore qu'on sera dans le cas de diminuer la hauteur VE, si, en conservant au vase la même largeur ED $= b$, on diminue l'épaisseur EP$=c$. En effet, alors une ouverture moindre que XVDE suffira pour soutenir la même pression que le fond, et par conséquent pour que l'eau puisse tomber aussi librement que si le fond étoit anéanti.

142. On voit ainsi la différence extrême qui se trouve entre le cas d'équilibre et celui de mouvement. Lorsque l'eau est en repos dans le vase, la pression qu'elle exerce contre la face ABDE est la même, soit que c soit infiniment petit, soit qu'il soit infini : mais si on forme une ouverture déterminée XVDE qui puisse soutenir un poids égal à celui que supporte le fond, si on entretient le vase toujours plein, et si on fait augmenter successivement la valeur de c, l'écoulement se fera d'abord librement par l'ouverture; et à mesure que c augmentera, la vîtesse à l'orifice augmentera aussi jusqu'à ce qu'elle devienne égale à celle qu'un corps peut acquérir en tombant librement de la hauteur du vase.

143. Si on pratique sur l'espace XVDE (*figure* 32) une ouverture rectangulaire MNOP sur la hauteur VE pour déterminer la quantité d'eau qui s'écoulera dans un temps donné par cette ouverture, on fixera d'abord le rapport de l'aire MNOP à celle de XVDE; on supposera ensuite qu'on a un vase prismatique droit dont XVDE est le fond, et qui a pour hauteur BE $\frac{1}{2}$ VE, c'est-à-dire celle du centre de gravité de l'espace XVDE. Le rapport de l'orifice au fond absolu étant donné, et le vase étant supposé entretenu toujours plein, on déterminera la quantité d'eau écoulée dans un temps quelconque au moyen de la formule du § 15.

144. En général, si l'orifice est triangulaire comme XDO, ILO, XDE, etc. (*figure* 33), s'il est en trapeze comme SLDO, s'il est quadrangulaire comme IOPF, MOPN, etc. s'il est circulaire comme K, y, etc. s'il est sémi-circulaire comme H, T, s'il a la forme d'un

secteur de cercle comme z, on réduira sa surface à une autre rectangulaire, telle que MNOP, qui éprouve la même pression, et qui ait son centre de gravité sur la même ligne où se trouve celui de l'espace XVDE. On comparera cette nouvelle surface à celle de XVDE, et on déterminera la quantité d'eau écoulée par la formule du § 15, en supposant que la hauteur du vase est égale, dans les différents cas, à celle du centre de gravité de l'orifice.

Si l'orifice s'étendoit en hauteur au-dessus de l'espace XVED, on changeroit sa figure en une autre qui eût le même centre de gravité, qui éprouvât la même pression, et qui fût comprise dans l'espace XVED. Ce cas seroit ainsi réduit à un des précédents.

Remarque I.

145. Nous avons déja fait voir que ce n'étoit pas d'après la pression qu'exerçoit une masse quelconque d'eau, qu'il falloit fixer la quantité de ce fluide qui pouvoit sortir d'un vase dans un temps donné. Dans l'état d'équilibre, il suffit que deux vases prismatiques aient même base et même hauteur, pour que ces bases et tous les points des faces également éloignés de la surface supérieure éprouvent des pressions égales : mais en supposant le fond anéanti, l'écoulement se fera avec d'autant plus de facilité, que les vases approcheront davantage d'être droits.

Dans la solution de la question précédente, nous avons déterminé d'abord sur la face ABDE (*figures* 30, 32) un espace XVED qui soutînt une pression égale à celle que supporte le fond : mais suit-il de là qu'en anéantissant l'espace XVED, toute l'eau du vase tombe librement par cette ouverture comme si le fond étoit anéanti ? Pour moi je ne le crois point : car, 1° si toutes les particules d'eau tomboient librement, comme XVED est plus grand que le fond du vase, il sortiroit dans un temps donné une plus grande quantité d'eau par l'ouverture verticale que par le fond ; ce qui est impossible. 2°. De la masse d'eau qui répond à l'orifice XVED, et

qui a la même hauteur, il n'y a que la partie exprimée par XVED $\times \frac{1}{2}$ VE qui puisse tomber librement; l'autre partie est nécessairement soutenue, comme nous le ferons voir. 3°. Lorsque l'eau tombe librement, la pression que les parties supérieures exercent sur les inférieures n'a plus lieu; mais, dans le cas présent, le fond soutient toujours une partie de l'eau : or on sent que ce fluide ne peut pas à la fois tomber et être soutenu.

146. Le cas où l'orifice est vertical ne peut pas être ramené rigoureusement à celui où l'orifice est pratiqué sur le fond; du moins j'ai fait un très grand nombre de tentatives sans pouvoir y parvenir. Le lecteur me saura gré de lui épargner les détails et les discussions où cet objet m'avoit entraîné. Il est pourtant à présumer que l'écoulement par un orifice vertical se fera relativement à l'espace XVED, qui supporte une pression égale à celle du fond, de la même maniere que lorsque l'écoulement se fait par un orifice pratiqué au fond, en supposant que cet orifice fût au fond dans le même rapport que l'orifice vertical est à l'espace XVDE. En effet, dans les deux cas, c'est la même quantité d'eau qui tombe; le rapport de l'orifice au fond absolu est le même: la quantité d'eau écoulée paroît donc devoir être la même dans le même temps. Ainsi, dans la pratique, on pourra employer la théorie du § 15; seulement, d'après les réflexions que j'ai faites, on n'oubliera pas qu'elle n'est pas rigoureusement exacte: elle a pourtant l'avantage d'indiquer la plus grande quantité d'eau qu'un orifice vertical puisse fournir; et si elle est défectueuse, c'est par excès.

REMARQUE II.

147. L'EAU, en sortant des vases par des orifices verticaux, doit éprouver une contraction qui modifie l'écoulement. Nous avons observé que pour les petits orifices, l'effet de la contraction étoit assez bien connu par l'expérience. Nous avons observé aussi que cet effet s'affoiblissoit d'autant plus, que l'orifice approchoit davantage d'être égal au fond absolu, et qu'il devenoit alors nul; mais nous avons

ajouté que la loi selon laquelle il diminuoit étoit inconnue ; et nous pensons encore qu'il est fort incertain que cet effet soit le même dans les grands orifices que dans les petits, même lorsque, dans les deux cas, le rapport de l'orifice au fond absolu est le même.

REMARQUE III.

148. Les réflexions que nous avons faites sur la maniere dont on peut remplacer l'eau qui sort par l'orifice pour que le vase reste constamment plein, sont communes au cas où les orifices sont verticaux, et à celui où ils sont horizontaux. Nous ne les répéterons pas.

149. Lorsque les orifices sont verticaux, et qu'en outre ils sont grands, l'eau qui en est la plus voisine a plus de facilité à tomber que les autres parties de ce fluide n'en ont à la remplacer. Il arrive alors que la surface ne reste pas horizontale, et qu'il se forme un creux ou une espece d'entonnoir au-dessus de l'orifice. Cela prouve que l'eau n'a pas une mobilité parfaite, et qu'elle ne tombe pas toute à la fois comme on le suppose. Ainsi les résultats de la théorie n'indiquent pas l'effet qui doit avoir lieu, mais seulement la limite qu'il ne sauroit atteindre. Les résultats pechent par excès.

REMARQUE IV.

150. Si, sans changer la face ABDE (*figure* 30), on augmente l'étendue du fond, ou l'épaisseur du vase EP $= c$, l'espace XVED, qui doit éprouver une pression égale à celle du fond, augmentera aussi ; mais il est évident qu'il ne peut pas devenir plus grand que ABDE : d'où il suit qu'en augmentant à volonté la capacité du vase, on ne rendra pas l'écoulement de l'eau plus facile ni plus abondant. Pour connoître la valeur de EP, lorsque la face ABDE soutiendra réellement le même poids que le fond, on substituera dans l'équation (§ 137) $2ax - xx = 2ac$ à la place de x, attendu que VE $= x$ devient égal à BE $= a$. On aura $2a^2 - a^2 = 2ac$, et on en tirera $c = \frac{a}{2}$; c'est-à-dire que, lorsque la surface du fond est la moitié

de celle de la face ABDE, alors l'eau, en lui supposant une mobilité extrême, doit couler aussi librement, en anéantissant la face verticale, que si le fond étoit anéanti.

151. En augmentant ensuite le fond, la pression qu'éprouvera la face verticale, et le poids qu'elle soutiendra, n'augmenteront point; et par conséquent l'augmentation de l'étendue du fond ne produira d'autre effet que de fournir de l'eau pour remplacer celle qui coulera : mais jamais il n'en sortira davantage dans un temps donné qu'il n'en pourra couler par un fond horizontal, dont la surface seroit égale à celle de la face verticale ABDE d'un vase qu'on entretiendroit toujours plein, et qui auroit pour hauteur les $\frac{4}{9}$ de BE (1).

REMARQUE V.

152. Nous allons exposer à présent la théorie qu'on trouve dans tous les livres d'hydraulique sur l'écoulement des fluides par des orifices verticaux qui ont une étendue considérable.

On suppose que la vîtesse de l'eau, à chaque point de l'orifice, est égale à celle qu'acquerroit un corps grave en tombant de la hauteur du niveau correspondante à ce point. On imagine ensuite que l'orifice proposé est partagé en une infinité de rectangles et de trapezes par des plans horizontaux; et, regardant chacun de ces rectangles ou trapezes élémentaires comme un orifice particulier dont tous les points sont également distants de la surface du fluide, on détermine aisément la quantité de liqueur qu'il doit fournir pen-

(1) Le vase de la *figure* 30 étant plein, la pression exercée sur le fond ABDE est équivalente au poids d'un prisme d'eau qui auroit pour base ABDE, et pour hauteur $\frac{BE}{2}$: mais si l'eau pouvoit s'échapper librement par la face ABDE, ce ne seroit pas le volume d'eau que nous venons de déterminer qui tomberoit librement; il faudroit avoir égard alors à la maniere dont la pression est exercée. Le point E (*figure* 31) éprouve la pression de la colonne BE, le point V la pression de la colonne VB, et ainsi de suite. En prenant EM = BE, et tirant la ligne BM; EM, VN, GH, etc. représenteront les colonnes d'eau qui peseront

dant un temps donné; ensuite on cherche la somme de toutes ces quantités élémentaires de fluide pour avoir la quantité totale que l'orifice entier doit donner pendant le même temps.

153. On voit, sans qu'il soit nécessaire de faire des applications de cette théorie, que ses résultats représentent des quantités d'eau plus considérables que celles qui peuvent sortir du vase. En effet, on calcule comme si l'orifice étoit infiniment petit par rapport au fond, tandis que dans le même temps on suppose que cet orifice a une étendue considérable par rapport à ce même fond. Une solution unique embrasse ainsi une infinité de cas différents, et son inexactitude augmente à proportion que les orifices deviennent plus grands par rapport au fond absolu.

154. On peut cependant employer les procédés de l'ancienne théorie pour la solution rigoureuse des questions relatives à l'écoulement des fluides par des orifices verticaux; mais il faut préalablement fixer le rapport de l'orifice au fond absolu. Dès que ce rapport est connu, on détermine la vîtesse uniforme de l'eau qui, par exemple, sortiroit par l'orifice d'un vase de 15 pieds de hauteur dans une seconde de temps. On trouve facilement la pesanteur à laquelle on peut rapporter cette vîtesse; et au lieu de supposer, dans la solution du problême, que les graves, en tombant librement, parcourent 15 pieds dans une seconde, on emploiera l'effet de la pesanteur relatif au cas qu'on traite. Je vais développer mes idées dans un exemple. Supposons un vase percé, sur une de ses faces, d'un orifice qui soit à l'espace XVED dans le rapport de 1 à 4.

---

sur les points correspondants de la hauteur BE. En considérant ces colonnes comme indépendantes les unes des autres, et entretenues à la même hauteur, les vîtesses moyennes de chacune de ces colonnes, ou les dépenses, seront comme les racines des hauteurs. Si on construit sur BE, comme axe, une parabole, ses ordonnées représenteront les vîtesses moyennes, et la vîtesse moyenne entre toutes les autres répondra aux $\frac{4}{9}$ de BE. La dépense par l'orifice ABDE sera donc la même que par un prisme entretenu toujours plein qui auroit pour fond ABDE et une hauteur égale aux $\frac{4}{9}$ BE.

Par la formule du § 15, pour le cas où l'orifice $= \frac{1}{4}$ du fond absolu, et pour un vase de 15 pieds de hauteur, la vîtesse de l'eau qui sort par l'orifice dans une seconde de temps est de 26 pieds $\frac{1}{4}$. On supposera que cet espace est parcouru par l'effet de la pesanteur, et que cette force, au lieu de faire parcourir 15 pieds par seconde aux corps graves qui tombent librement, ne leur en fait parcourir que 13 $\frac{1}{8}$. On détermineroit, selon la forme de l'orifice, la hauteur et la vîtesse moyenne, et on auroit ainsi immédiatement la quantité d'eau qu'un vase d'une hauteur donnée, et dans un temps quelconque, pourroit fournir par un orifice vertical qui seroit le quart de XVED.

155. Au reste, comme les quantités d'eau écoulées dans le même temps de vases de hauteur égale par des orifices inégaux sont entre elles dans un rapport constant, dès que le rapport de l'orifice ne change pas, il sera toujours aisé de réduire une solution pour un cas quelconque à tel autre cas qu'on voudra choisir.

Si on a deux vases dont la hauteur moyenne soit de 15 pieds, et dans lesquels l'écoulement se fasse par des orifices égaux; si on calcule le volume d'eau qui sortira dans une seconde de temps, en supposant que chacune des particules d'eau qui répondent à l'orifice ait en sortant du vase la vîtesse qu'elle auroit pu acquérir par la chûte libre de la hauteur du vase, la vîtesse uniforme par seconde sera évidemment de 30 pieds; et si la surface de l'orifice est d'un pied quarré, la quantité d'eau écoulée sera de 30 pieds cubiques.

Si on calcule ensuite la quantité d'eau qui sortiroit d'un vase pareil au précédent et par un orifice égal, mais en supposant que l'orifice ne fût que le quart du fond absolu, on trouvera qu'il sera sorti du vase dans cette supposition, pendant une seconde de temps, 26 pieds cubiques $\frac{1}{4}$ d'eau. Quelles que soient les hauteurs des vases, dans les suppositions que nous avons faites, les quantités d'eau écoulées dans le même temps seront entre elles $:: 30 : 26\frac{1}{4} :: 15 : 13\frac{1}{8}$. Tout cela est évident par la formule du § 15.

156. M. l'abbé Bossut observe que, lorsque l'orifice est égal à la

la vingtieme partie du fond, l'écoulement se fait de la même maniere que si les particules d'eau, à l'instant où elles sortent du vase, étoient animées de la vîtesse qu'elles auroient pu acquérir en tombant de la hauteur du vase. Cela est sensiblement vrai. En effet, dans une seconde de temps, en supposant un vase de 15 pieds de hauteur dont l'orifice seroit un vingtieme du fond absolu, et auroit un pouce quarré de surface, cet orifice fourniroit 29 pouces cubiques $\frac{1}{4}$ d'eau (§ 16), tandis que, si les particules d'eau avoient en sortant la vîtesse acquise de la hauteur de 15 pieds, la quantité d'eau écoulée du vase dans les circonstances précédentes seroit de 30 pouces cubes. Les volumes d'eau fournis seroient donc entre eux :: 29 $\frac{1}{4}$: 30, c'est-à-dire à très peu près égaux. Mais la veine, en sortant par l'orifice, paroît éprouver une contraction qu'il est très difficile, ou, pour mieux dire, impossible, de mesurer rigoureusement. On n'a donc qu'à la supposer un peu moins forte qu'elle n'est réellement, pour que l'on puisse attribuer à l'eau qui sort, la vîtesse qui seroit produite par la chûte libre de la hauteur du vase.

157. Notre théorie expose de la maniere la plus frappante ce qui n'est qu'une assertion dans l'ouvrage de M. l'abbé Bossut. On y voit la vîtesse à l'orifice n'augmenter plus que par degrés insensibles et d'une petite quantité à mesure qu'on rend successivement l'orifice moindre que la vingtieme partie du fond. Comme l'air oppose une résistance à l'écoulement de l'eau, on sent aisément qu'à mesure qu'on rend l'orifice plus petit, ce qu'on peut gagner en vîtesse peut être aisément détruit par une plus grande résistance relative; et on conclut que, dans l'état physique des choses, on ne doit pas rendre les orifices trop petits si on veut que l'eau ait en sortant la plus grande vîtesse qu'on puisse lui procurer. Notre théorie a cet avantage précieux de présenter une solution pour tous les cas possibles, et cela n'est pas indifférent pour ceux où l'orifice est grand par rapport au fond.

Tous les auteurs ont remarqué, pour les vases prismatiques

droits, que, lorsque l'orifice étoit égal au fond absolu, l'eau à l'orifice tomboit comme tous les autres corps graves; qu'elle ne parcouroit comme eux que 15 pieds par seconde, et qu'elle n'avoit pas alors la vîtesse qu'elle eût pu acquérir par la chûte de la hauteur du vase. Cela étoit trop sensible pour que les physiciens les moins attentifs puissent ne pas l'observer. Mais on a lieu d'être étonné de ce que, dans le cas où l'orifice est vertical, et où il est égal au fond absolu, on ait déterminé la vîtesse de l'eau comme si chaque particule avoit, à sa sortie du vase, la vîtesse produite par la chûte libre de la hauteur de la surface du fluide. On va voir combien cette erreur est grave.

REMARQUE VI.

158. SOIT XVED (*figure* 34) la face d'un vase qui supporte une pression égale à celle que peut produire l'eau contenue dans le vase sur son fond. Supposons que ce vase soit toujours entretenu plein; imaginons qu'on ait percé sur toute sa hauteur une ouverture rectangulaire MNOP, et que l'écoulement se fasse aussi librement par des orifices verticaux que par des orifices horizontaux. Si, sur NP, comme axe, avec un parametre quelconque on décrit une parabole NST, les ordonnées correspondantes aux points 1 seront proportionnelles aux vîtesses avec lesquelles l'eau s'écoulera à ces différents points. La hauteur à laquelle répondra la vîtesse moyenne sera égale aux $\frac{4}{9}$ NP: l'écoulement se fera donc de la même maniere que si on supposoit que le vase, avec l'orifice qu'il a, n'avoit qu'une hauteur égale aux $\frac{4}{9}$ NP (1).

---

(1) Nous avons prescrit (§ 137) d'employer dans tous les cas la hauteur du centre de gravité par la hauteur à laquelle répond la vîtesse moyenne. Ici la hauteur du centre de gravité est égale à $\frac{1}{2}$ NP : or $\frac{1}{2}$ NP ne differe de $\frac{4}{9}$ NP que de $\frac{1}{18}$ NP; ce qui, dans une infinité de cas, est de peu de considération. Nous n'avons pas manqué d'avertir que la regle que nous prescrivons donnoit une plus grande vîtesse que celle qui pouvoit avoir lieu réellement; mais nous remarquons en même temps que la hauteur du centre

Si MNOP étoit un vingtieme de XVED, et VE de 15 pieds de hauteur, on détermineroit l'écoulement, en supposant qu'il eût lieu par un orifice $= \frac{1}{20}$ du fond absolu, et pour un vase qui eût pour hauteur les $\frac{4}{9}$ de $15 = 6\frac{2}{3}$. On cherchera alors la vîtesse uniforme qui correspond à cette hauteur dans une seconde de temps, dans la supposition que chaque particule d'eau a, en sortant du vase, la vîtesse qu'elle auroit pu acquérir par la chûte libre de la hauteur en question. En faisant $30 : x :: \sqrt{15} : \sqrt{6\frac{2}{3}}$, ou $900 : x^2 :: 15 : 6\frac{2}{3}$, on trouvera, pour l'expression de la vîtesse qu'on cherche, $x = 20$ pieds.

Comme dans le même temps les quantités d'eau écoulées de vases de même hauteur par des orifices inégaux sont entre elles dans un rapport constant (§§ 15, 16), et comme, dans les cas où l'orifice est $\frac{1}{20}$ du fond, et où il est supposé infiniment petit par rapport à ce même fond, les vîtesses, dans une seconde de temps, sont entre elles comme $29\frac{1}{4}$ est à 30, on fera la proportion $30 : 29\frac{1}{4} :: 20 : z = 19\frac{1}{2}$, qui représente la vîtesse uniforme, par seconde, de l'eau qui sort d'un vase entretenu toujours plein, dont l'orifice $= \frac{1}{20}$ du fond absolu, et dont la hauteur est de 6 pieds $\frac{2}{3}$.

159. Il sera aisé, d'après l'exemple que nous venons de donner, de trouver la vîtesse par seconde relative à un vase de telle hauteur qu'on voudra, et dont le fond sera percé d'un orifice qui aura, avec le fond absolu, tel rapport que ce soit. On voit évidemment que la vîtesse moyenne diminue à mesure que l'orifice approche davantage d'être égal au fond absolu, et qu'elle n'est jamais moindre que lorsque l'orifice est égal à ce fond absolu. Dans ce cas elle n'est que la moitié de celle qui auroit lieu, si toutes les particules d'eau

de gravité de l'orifice, et la hauteur du point où répond la plus grande vîtesse, ne different jamais davantage que lorsque l'orifice est vertical et percé sur toute la hauteur VE. Cette différence est alors $= \frac{1}{12}$ VE. Ces deux hauteurs approchent toujours plus de l'égalité à proportion que l'orifice est percé dans des parties du vase plus voisines du fond.

avoient, en s'échappant, la vîtesse que pourroit produire la chûte libre de la hauteur du niveau du fluide. Ainsi, pour un orifice vertical de 15 pieds de hauteur qui auroit toute la largeur du vase, la vîtesse moyenne ne seroit que de 10 pieds par seconde, au lieu que, dans la théorie ordinaire, on la fait de 20 pieds dans le même temps.

160. En vertu des principes développés dans les §§15, 16, on aura cette proportion, 30, vîtesse pour un vase de 15 pieds de hauteur, dont l'eau, à l'instant qu'elle sort par l'orifice, se meut de la même maniere que si elle étoit déja tombée de la hauteur du vase, est à 15, vîtesse de l'eau qui sort, dans une seconde de temps, d'un vase de 15 pieds de hauteur par un orifice égal au fond absolu, comme 20, vîtesse uniforme relative à un vase de $6\frac{2}{3}$ pieds de hauteur, dont l'orifice seroit regardé comme infiniment petit par rapport au fond, est à 10, vîtesse pour le cas où le vase auroit $6\frac{2}{3}$ pieds de hauteur, et où l'orifice seroit égal au fond absolu.

161. On peut avoir le même résultat directement pour le cas où l'orifice est égal au fond absolu, et où la hauteur moyenne est égale à $6\frac{2}{3}$ pieds. Il faut pour cela chercher le temps qu'un corps emploie pour tomber librement de la hauteur $6\frac{2}{3}$ pieds: on aura donc la proportion, $15 : 6\frac{2}{3} :: 1''^2 : x^2$ = le quarré du temps cherché qui est de $\frac{2}{3}$ de seconde. Puisqu'on suppose que pendant les $\frac{2}{3}''$ il tombe continuellement un volume d'eau qui a pour base l'orifice et pour hauteur $6\frac{2}{3}$ pieds, il suit que, pendant une seconde, il s'écoulera un volume d'eau de même base que l'orifice, et qui aura pour hauteur 10 pieds; car $\frac{2}{3}'' : 1'' :: 6\frac{2}{3}$ pieds $:$ 10 pieds.

162. Il est étonnant que la fausseté de la théorie ordinaire n'ait pas été reconnue pour le cas où l'orifice est vertical et égal à la face entiere ABDE. Au-dessus de toutes les cataractes ou chûtes il y a une si grande disproportion entre la vîtesse effective de l'eau et celle qui devroit avoir lieu, qu'on ne conçoit pas comment on a pu tomber généralement dans des erreurs aussi grandes. D'ailleurs, en supposant la surface de l'orifice divisée en une infinité de petits

quarrés pour que l'eau qui répondoit à ces quarrés pût sortir avec une vîtesse égale à celle que la chûte libre de la hauteur du niveau pouvoit produire, il auroit fallu, même d'après les meilleurs auteurs qui avoient écrit sur l'hydraulique, qu'il y eût eu vingt fois plus d'eau disposée à tomber qu'il ne s'en présentoit à chacun de ces petits quarrés. Or cela ne se rencontroit pas ici, puisque le fond absolu, avant d'être anéanti, ne soutenoit qu'un volume d'eau égal à un solide qui auroit eu le fond absolu, ou, ce qui est la même chose, l'orifice pour base, et pour hauteur la moitié de la hauteur de l'orifice.

Remarque VII.

163. En comparant les écoulements par des vases de même capacité entretenus toujours pleins, de hauteur différente, et dans lesquels l'orifice est au fond absolu dans le même rapport, on trouve que les quantités d'eau fournies dans le même temps sont d'autant plus grandes, que l'élévation de ces vases est moindre.

En effet, les vîtesses à l'orifice seroient les mêmes, si les vases avoient même hauteur; et comme alors les orifices seroient égaux, les dépenses seroient égales: mais en rendant les hauteurs inégales, les vîtesses n'augmenteront que comme les racines des hauteurs, tandis que les orifices diminueront dans le même rapport que les hauteurs diminueront. Les dépenses dans le même temps sont égales au produit des orifices par les vîtesses; elles seront donc d'autant plus petites, que les vases auront plus d'élévation. Si, par exemple, les hauteurs de deux vases de même capacité, etc. sont entre elles dans le rapport de 4 à 1, la vîtesse, à l'orifice du premier de ces vases, sera double de celle du second. Mais le fond de celui-ci sera quatre fois plus grand, et son orifice sera aussi quadruple de l'orifice du premier vase; par conséquent sa dépense sera double.

Le même effet auroit lieu pour le cas où l'orifice deviendroit égal dans les deux vases au fond absolu. Celui dont la hauteur seroit

moindre seroit plutôt vuidé. Ce n'est pas que la chûte ne se fasse aussi librement dans le vase plus élevé que dans l'autre; mais il faut plus de temps au même volume d'eau pour sortir d'un vase plus long.

SECTION XIV.

De la distribution des eaux.

164. On amene presque toujours les eaux destinées à l'embellissement ou aux besoins des villes dans des réservoirs sur les faces desquels on forme des ouvertures qui, réunies, sont suffisantes pour fournir à l'écoulement de toutes les eaux que les réservoirs reçoivent, et qui, prises séparément, fournissent des quantités d'eau dans une proportion donnée.

Lorsqu'on est dans le cas de faire le partage d'une colonne d'eau, il faut le faire connoître avec exactitude; et pour cela on recevra dans un baquet, dont les dimensions soient fixées avec précision, la quantité d'eau fournie par la conduite pendant un temps déterminé.

165. Dès qu'on connoîtra le volume d'eau que la conduite peut fournir continuellement au réservoir et la hauteur du réservoir, on trouvera aisément l'ouverture nécessaire pour fournir une dépense égale à celle de la conduite. On placera cette ouverture assez près du fond, afin d'être dans le cas de la faire moins grande. Pour en déterminer l'étendue, on supposera, si on veut, que l'eau ait, à tous les points de cette ouverture, une vîtesse égale à celle qui auroit été acquise par la chûte libre de la hauteur du niveau. Supposons que le réservoir fournisse un pied cube d'eau par seconde, que sa hauteur soit de 3 pieds, et que la distance du niveau au centre de gravité de l'orifice soit de 2 pieds $\frac{1}{2}$. La vîtesse uniforme par seconde que la chûte de 2 pieds $\frac{1}{2}$ peut produire est, à très peu près, de 12 pieds 3 pouces (§§ 15, 16), ou de 147 pouces. Comme la dépense doit être d'un pied cubique par seconde, et comme le pied cubique contient 1728 pouces cubes, on aura, en

représentant par x la surface de l'ouverture, $147\ x = 1728$, d'où on tirera $x = 11\frac{37}{49}$ pouces quarrés.

Ce seroit là l'ouverture suffisante, si l'eau en sortant n'éprouvoit point de contraction, pour que l'orifice pût fournir un pied cube d'eau par seconde. En supposant que l'effet de la contraction fût de réduire la veine fluide aux $\frac{5}{8}$ de son étendue, pour avoir la dépense qu'on desire, on augmentera la surface que nous avons trouvée de $11\frac{39}{47}$ pouces dans le rapport de 8 à 5, en faisant la proportion $5 : 8 :: 11\frac{39}{47} : z = 19$ pouces quarrés, à très peu près.

La surface de l'orifice étant déterminée, il ne reste plus qu'à former un certain nombre d'autres ouvertures, telles que la somme de leurs surfaces soit de 19 pouces, et qui soient entre elles dans le rapport des dépenses qu'elles doivent faire : pour cela on les disposera de maniere que leur centre de gravité soit sur la même ligne horizontale. La vîtesse sera la même à tous les orifices, et les dépenses seront par conséquent dans le rapport des ouvertures.

Supposons qu'on voulût distribuer le pied cube d'eau que reçoit le réservoir en trois parties qui fussent entre elles respectivement comme 6, 3, 1, la question se réduira à partager 19 pouces en trois parties qui soient entre elles comme 6, 3, 1. On fera pour cela les trois proportions,

$$10 : 19 :: 6 : x = 11\tfrac{4}{10}.$$
$$10 : 19 :: 3 : y = 5\tfrac{7}{10}.$$
$$10 : 19 :: 1 : z = 1\tfrac{9}{10}.$$

166. Il est assez indifférent de donner aux orifices telle figure qu'on jugera à propos de choisir ; cependant, si on suit l'usage, on les fera circulaires.

Comme les petits orifices dépensent proportionnellement moins que les grands, en distribuant les eaux on rendra ceux-là tant soit peu plus considérables qu'ils ne doivent être théoriquement. On ne doit pas se flatter de parvenir sans tâtonnement à faire une distribution parfaitement exacte.

167. On pourroit, au lieu de placer le centre de gravité des orifices sur la même ligne droite, leur donner telle autre position qu'on desireroit; mais il faudroit alors proportionner leur grandeur à la vîtesse que pourroit procurer à l'eau la hauteur du niveau de ce fluide dans le réservoir. Or la hauteur de ce niveau est ordinairement sujette à varier selon que les sources sont plus ou moins abondantes. Si la distribution avoit été bien faite pour un cas, elle ne seroit plus exacte si le niveau de l'eau haussoit ou baissoit, parce-que les vîtesses n'augmentent et ne diminuent pas dans le rapport des hauteurs du niveau au-dessus des orifices.

168. Dans l'usage, on ne doit employer la théorie que nous avons développée que pour avoir à peu près les dimensions des orifices. Comme les eaux qui en sortent sont conduites dans des tuyaux, on doit adapter à ces tuyaux des robinets, au moyen desquels on parviendra, avec quelques épreuves, à ménager les eaux dans la proportion qu'on desire.

169. M. Mariotte a trouvé qu'en une minute une ouverture circulaire et verticale d'un pouce de diametre, dont le centre est distant de 7 lignes de la surface de l'eau, dépense près de 14 pintes de Paris, le pied cube étant supposé contenir 36 pintes. Cette dépense a été appellée *pouce d'eau* par lui et par les auteurs qui l'ont suivi. La *ligne d'eau* est la $\frac{1}{144}$ partie du pouce d'eau : elle est par conséquent fournie en une minute, par un orifice d'une ligne de diametre dont le centre est distant de 7 lignes de la surface de l'eau.

Les fontainiers expriment en *lignes d'eau, pouces d'eau,* les dépenses que peuvent faire les réservoirs. Mais M. l'abbé Bossut pense, avec raison, que cette évaluation devroit être faite en pouces cubes; d'autant mieux que M. Mariotte attribue une dépense un peu trop forte à une ouverture verticale et circulaire, d'un pouce de diametre, sous 7 lignes de charge.

Dans l'usage, on ne peut rien faire de mieux que d'employer, lorsqu'on voudra déterminer les dépenses par des orifices percés dans de minces parois, une expérience de M. Bossut, en vertu de laquelle,

laquelle, sous 1 pied ou 12 pouces de hauteur de réservoir, un orifice circulaire d'un pouce de diametre donne 2722 pouces cubes d'eau en une minute. Cette expérience, combinée avec le principe que les dépenses effectives de deux orifices en temps égaux sont comme les produits de ces orifices par les racines des hauteurs des réservoirs, suffira pour obtenir des résultats assez exacts des dépenses qui seront faites par des réservoirs plus élevés et percés d'orifices plus grands. Il faut cependant toujours que les orifices puissent être considérés comme fort petits par rapport au fond; s'ils avoient une étendue considérable par rapport au fond absolu, il faudroit modifier les résultats d'après nos principes (§ § 15, 16).

SECTION XV.

De l'épaisseur qu'on doit donner aux tuyaux pour qu'ils résistent à la pression de l'eau.

170. Lorsque l'eau coule dans des tuyaux de conduite et qu'elle sort à gueule bée, quelle que soit la hauteur du réservoir au-dessus de l'orifice, la pression que l'eau exercera contre les parois des tuyaux sera peu considérable relativement à celle qu'elle peut produire lorsqu'elle est en repos; mais comme on est souvent obligé de fermer les tuyaux qui doivent fournir de l'eau à gueule bée, il est nécessaire alors de leur donner une épaisseur suffisante pour empêcher l'eau de les rompre par sa pression.

Pour déterminer le rapport des épaisseurs de deux tuyaux pour qu'ils résistent également à l'effort de l'eau, on observera, 1°. que la pression augmentera dans chaque tuyau en raison de la hauteur verticale du niveau de l'eau au-dessus du point pressé. 2°. La hauteur des tuyaux étant la même, les pressions sur des bandes circulaires de même élévation seront entre elles comme les circonférences des tuyaux, et par conséquent comme leurs diametres; les épaisseurs des tuyaux de même matiere doivent donc, sous même hauteur du réservoir, augmenter dans le rapport des diametres pour

être capables d'une résistance égale. 3°. Les matieres dont les tuyaux sont formés peuvent avoir des tenacités inégales; l'épaisseur des tuyaux devra donc être d'autant plus grande, que la tenacité des matieres dont ils seront formés sera moindre. Ainsi, en général, les épaisseurs des tuyaux seront entre elles en raison composée des hauteurs de l'eau et des diametres des tuyaux, et en raison inverse de la tenacité des matieres dont ils seront formés. Nommant E, *e*, les épaisseurs de deux tuyaux; D, *d*, leurs diametres; H, *h*, leurs hauteurs; T, *t*, leurs tenacités, on aura $E : e :: \frac{HD}{T} : \frac{hd}{t}$. Si on sait ensuite par expérience quelle est la moindre épaisseur que doit avoir un tuyau de diametre déterminé pour résister à la pression de l'eau, on trouvera facilement, pour un autre tuyau de même matiere dont on connoîtra la hauteur et le diametre, l'épaisseur qu'il doit avoir pour que la pression de l'eau ne le creve point.

Si on compare des tuyaux de hauteurs inégales, de diametres inégaux et de matieres différentes, il faudra connoître aussi par expérience le rapport des tenacités.

Comme on emploie plus ordinairement des tuyaux de plomb, voici une expérience de M. Parent, au moyen de laquelle on pourra déterminer les épaisseurs de tels tuyaux de même matiere qu'on voudra employer. Selon cet auteur, un tuyau de plomb de 12 pouces de diametre et de 60 pieds de hauteur doit avoir 6 lignes d'épaisseur pour soutenir verticalement, sans crever, l'effort de l'eau.

171. Voici les épaisseurs qu'on donne ordinairement aux tuyaux de plomb ou de fer, relativement à leurs diametres, soit qu'ils aient ou non des ajutages à leur bout (1):

---

(1) Hyd. de M. Bossut, part. II. pag. 186.

Tuyaux de plomb.		Tuyaux de fer.	
Diametres exprimés en pouces.	Épaisseurs exprimées en lignes.	Diametres exprimés en pouces.	Épaisseurs exprimées en lignes.
1	$2\frac{1}{2}$	1	1
$1\frac{1}{2}$	3	2	3
2	4	4	4
3	5	6	5
$4\frac{1}{2}$	6	8	6
6	7	10	7
7	8	12	8

SECTION XVI.

Loix de l'écoulement de l'eau qui sort librement par l'extrémité d'un canal horizontal.

172. (*Figure* 35.) Si on a un canal horizontal d'une longueur indéterminée, ayant par-tout même largeur et même hauteur, et dans lequel l'eau soit en repos; si on supprime subitement la vanne verticale ABDE qui ferme une de ses extrémités, et si on imagine que l'eau du canal est toujours entretenue à la même hauteur, la quantité de fluide qui s'échappe dans un temps donné se détermine aisément au moyen de ce qui a été dit dans la remarque VI (§ 159). Comme il ne pourra tomber à chaque instant que le volume d'eau que soutenoit la vanne, la dépense sera la même que par un vase vertical dont le fond seroit égal à la vanne, dont la hauteur seroit les $\frac{4}{9}$ de celle de la vanne, et duquel l'eau s'échapperoit avec liberté et continuellement: cette dépense ne sera par conséquent que la moitié de celle qu'on trouveroit, en supposant que l'eau eût, en sortant du vase, une vîtesse produite par la chûte de la hauteur du même vase.

173. Si, la hauteur du canal restant la même, on fait varier sa largeur, la vîtesse moyenne ne changera pas, et la quantité d'eau écoulée dans le même temps augmentera ou diminuera dans le

même rapport qu'on aura augmenté ou diminué la largeur du canal.

174. La largeur du canal restant la même, si on fait varier sa hauteur, les quantités d'eau écoulées dans le même temps, par des orifices de hauteurs différentes, seront entre elles en raison composée de la surface de ces orifices et des racines des hauteurs.

Ainsi, en comparant les orifices *abik*, *gikh* (*figure* 36), qui ont même base, et dont les hauteurs sont entre elles comme 4 à 1, les vîtesses moyennes seront comme 2 à 1; et parceque la surface du premier de ces orifices est quadruple de l'autre, les quantités d'eau écoulées dans le même temps seront entre elles comme 8 à 1.

Si sur la hauteur *gi* on forme un orifice *giml* de même surface que *abik*, les quantités d'eau écoulées par ces orifices égaux seront entre elles simplement comme les racines des hauteurs, et dans le cas présent, comme 1 à 2.

Il suit de là qu'en prenant un orifice $aois = \frac{abik}{2} = -\frac{giml}{2}$, il fournira autant d'eau dans le même temps qu'il en sortiroit par l'orifice *giml*.

Il suit de là encore qu'on aura la même quantité d'eau dans le même temps, si les produits des orifices par les racines des hauteurs donnent des quantités égales. Les orifices seront alors réciproquement comme les racines des hauteurs.

175. Nous avons supposé, en déterminant (§ 159) la quantité d'eau fournie par un orifice vertical, que le fluide étoit entretenu à la même élévation dans le canal. On conçoit que ce remplacement peut se faire de différentes manieres; mais, dans l'état des choses, il n'a guere lieu que dans le sens du canal, et selon la même direction que le fluide a en s'échappant.

176. Si l'eau a une hauteur déterminée avant qu'elle s'écoule, elle ne peut conserver cette élévation près de l'orifice, lorsqu'on la laissera sortir librement, qu'autant que l'eau du canal aura au moins une vîtesse suffisante pour fournir à la dépense relative à la

hauteur de l'eau: car, en supposant que l'eau eût, avant et après l'écoulement, une même hauteur à l'orifice, si la vîtesse moyenne dans le canal étoit moindre que la vîtesse moyenne à l'orifice, il sortiroit une plus grande quantité d'eau par l'orifice qu'il n'en entreroit ou couleroit dans le canal pendant le même temps; ce qui est absurde.

177. Au reste, à mesure que les tranches verticales approchent de l'orifice, elles se déforment; dès qu'elles cessent d'être également soutenues en amont et en aval, elles s'écroulent. Les parties les plus basses prenant une plus grande vîtesse que la vîtesse moyenne, le vuide qu'elles laissent est rempli par la chûte et l'abaissement subit des tranches horizontales correspondantes qui sont au-dessus. Il est constant qu'au voisinage des digues, sur-tout lorsqu'il y a en amont un affouillement, la surface de l'eau a très peu de pente, et que l'écroulement ne devient sensible qu'à une distance de la tête de la digue, marquée par la hauteur du niveau de l'eau sur cette tête.

178. Si la vîtesse moyenne de l'eau qui coule dans le canal étoit moindre que la vîtesse moyenne relative à la hauteur de ce fluide à l'orifice avant que l'écoulement ait lieu, l'eau ne conservera pas près de l'orifice la même hauteur qu'elle avoit avant l'écoulement: mais il sera toujours aisé de déterminer la hauteur qui restera à ce fluide; elle sera telle, que la vîtesse moyenne ne différera pas de la vîtesse moyenne qui a lieu dans le canal.

179. Lorsque la vîtesse moyenne de l'eau dans le canal est plus grande que la vîtesse que la pression peut produire à l'orifice, l'eau se déforme moins à l'orifice, et y conserve mieux la hauteur qu'elle avoit dans le canal. Ce dernier effet est d'autant plus marqué, que la premiere de ces vîtesses est plus grande que l'autre.

180. Dans l'écoulement qui a lieu par des orifices verticaux formés à l'extrémité de canaux horizontaux, pour déterminer la dépense il ne faut pas considérer l'eau, lorsqu'elle est à l'orifice, comme animée à la fois de la vîtesse uniforme qu'elle a dans le

canal, et de celle que la pression peut produire. L'effet de la pression ne consiste, dans ce cas, qu'à modifier subitement la vîtesse uniforme. Dans la théorie ordinaire, non seulement on fait l'action de la pression double; mais on ajoute encore à cet effet celui de la vîtesse acquise. Voici cette théorie.

181. Soit le réservoir de la *figure* 37 constamment entretenu plein à la hauteur AB d'une eau dormante, et dont la face ABDE soit subitement anéantie. Pour déterminer la vîtesse moyenne de l'eau qui sortira continuellement, on imagine que cette face ABDE est percée d'une infinité de petits trous, et que l'eau, en s'échappant, est animée d'une vîtesse égale à celle qui auroit été acquise par la chûte de la hauteur du niveau sur chacun de ces trous. Les vîtesses, par les trous situés sur une même ligne horizontale, telle que GK, seront égales; mais les vîtesses, par les trous situés sur une même ligne verticale, telle que AD, seront entre elles comme les racines des hauteurs.

Si, sur AD comme axe, on construit une parabole AIH, les ordonnées de cette courbe étant entre elles comme les racines des abscisses correspondantes, les ordonnées, qui répondent aux points G, D, seront entre elles comme les vîtesses de l'eau qui sortira par les trous placés en G et D: d'où il suit que la somme de toutes les vîtesses des petits trous compris dans un filet vertical, tel que AD, pourra être représentée par la somme des ordonnées, ou par la surface de la parabole AIHD; et même, si cette parabole avoit son parametre de 60 pieds, les ordonnées représenteroient exactement les vîtesses. Or la surface de la demi-parabole AIHD est égale aux $\frac{2}{3}$ du produit de AD par DH; par conséquent la vîtesse moyenne de tous les filets qui sortiront par la ligne verticale AD sera les $\frac{2}{3}$ de HD. Si on prend AG $= \frac{4}{9}$ AD, l'ordonnée IG sera les $\frac{2}{3}$ de HD: elle représentera donc la vîtesse moyenne. Pour avoir la quantité d'eau qui sortira du canal dans un temps donné, on multipliera la somme de tous les trous, ou l'aire de la face ADBE, par la vîtesse moyenne, et l'on prendra le produit autant de fois que le temps d'après le-

quel on a déterminé la vîtesse moyenne est compris dans le temps donné.

182. Pour faciliter le calcul de la dépense des eaux, les auteurs d'hydraulique ont dressé, d'après les principes du § précédent, des tables qui comprennent les chûtes et les vîtesses uniformes qui leur sont relatives pendant la durée d'une seconde. Je suppose qu'on ait sous les yeux les tables de l'Architecture hydraulique de M. Belidor, tom. I, pag. 189 et suiv. Comme toutes les chûtes sont accompagnées des vîtesses uniformes qui leur répondent, on trouvera tout d'un coup celle d'un corps par seconde, après être tombé de telle hauteur qu'on voudra. Par exemple, si on veut savoir quelle vîtesse il aura acquise par une chûte de 6 pouces 9 lignes, on trouvera vis-à-vis et sur la même ligne, dans la table des vîtesses, 5 pieds 9 pouces 4 lignes 5 points, pour la vîtesse cherchée. Réciproquement, si la vîtesse étoit donnée, on chercheroit dans la table des chûtes celle qui seroit sur la même ligne et correspondroit exactement à la vîtesse donnée : la chûte indiquée par la table seroit celle qu'on cherchoit.

Si on vouloit connoître la vîtesse uniforme correspondante à une chûte plus grande que 15 pieds, on la trouveroit aisément en se souvenant que les vîtesses sont entre elles comme les racines quarrées des chûtes ; on prendroit à volonté une chûte dans la table avec la vîtesse correspondante, et on feroit la proportion, la vîtesse prise dans la table est à la vîtesse qu'on cherche, comme la racine de la chûte, prise dans la table, est à la racine de la chûte donnée.

183. Lorsqu'on voudra déterminer la dépense pour un réservoir tel que celui dont il est question au § 181, on prendra les $\frac{4}{9}$ de la hauteur AD ; on cherchera la vîtesse correspondante à cette chûte ; on la multipliera par la surface ABDE, et le produit indiquera la dépense du réservoir par seconde. Soit AD $=$ 9 pieds, DE $=$ 3 pieds, les $\frac{4}{9}$ AD $=$ 4 pieds ; la vîtesse correspondante à la chûte de 4 pieds est, par seconde, de 15 pieds 5 pouces 10 lignes 8 points, la surface ABDE $=$ 27 pieds quarrés. La dépense par seconde est

donc, selon la théorie ordinaire, de 27 pieds quarrés multipliés par 15 pieds 5 pouces 10 lignes 8 points; ce qui fait à peu près 418 pieds cubiques.

184. (*Figure* 38.) Si, au lieu de supposer, comme dans le § 181, que le réservoir est entretenu toujours plein d'une eau dormante, on imaginoit qu'il fût rempli du même fluide animé d'une vîtesse uniforme quelconque; on chercheroit la chûte qui correspondroit à la vîtesse uniforme de l'eau à la surface du canal ou réservoir; on ajouteroit cette chûte XA à la hauteur AD du réservoir; on décriroit sur l'axe XD une parabole égale à la parabole AIHD, *figure* 37, et on détermineroit la vîtesse moyenne entre AL et DH. Pour cela, on prendroit la surface XHD $= \frac{2}{3}$ XD $\times$ HD; on en retrancheroit XLA $= \frac{2}{3}$ XA $\times$ AL; on diviseroit le reste par AD, et le quotient seroit la vîtesse moyenne.

185. Guglielmini, en déterminant par la théorie des §§ 181, 184, le volume d'eau que peut fournir à chaque instant, par une de ses extrémités, un canal horizontal entretenu toujours plein, sentit la nécessité de supposer (1) que *la vîtesse de l'eau qui couloit dans toute autre partie du canal horizontal étoit la même que celle avec laquelle elle s'échapperoit d'un vase entretenu plein d'eau, avec une hauteur égale à la hauteur vive de ce fluide dans le canal horizontal*; ou, ce qui revient au même, *que la vîtesse moyenne de l'eau qui tomboit librement à l'extrémité d'un canal horizontal étoit la même que la vîtesse moyenne dans toute autre partie du même canal.* On sent en effet qu'il ne peut sortir par l'extrémité du canal que le même volume d'eau qui y entre dans le même temps. Les sections de ce fluide étant les mêmes, les vîtesses moyennes doivent être aussi égales.

(1) La velocità colla quale scorre l'acqua per un canale orizzontale, è la medesima che quella, colla quale scorrerebbe da un vaso pieno d'acqua coll' alteza uguale all' alteza viva dell' acqua nel canale orizzontale. *Misura dell' acque correnti di Dominico Guglielmini, libro III, proposizione II.*

Il est aisé de faire voir que Guglielmini supposoit à l'eau qui couloit dans un canal horizontal une vîtesse plus grande que celle qu'elle avoit réellement. Imaginons pour cela qu'on adapte à la chûte un canal de même largeur que le canal supérieur, mais incliné autant qu'il le faut pour que l'eau conserve la vîtesse moyenne que la chûte peut produire. On observera alors que l'eau aura, dans ce nouveau canal, une hauteur moindre que dans celui où la chûte a lieu : la vîtesse moyenne à la chûte est donc plus grande que la vîtesse moyenne dans le canal supérieur, puisque ces deux vîtesses sont en raison inverse de la hauteur de l'eau dans les deux canaux. Les suppositions de Guglielmini sont donc fausses.

L'examen de ce qui se passe dans les vases, lorsque l'eau s'en échappe avec peu de hauteur, et lorsque les orifices sont assez considérables, peut servir encore à faire voir combien la théorie de Guglielmini est peu solide.

Imaginons un vase dont le fond soit étendu, où l'eau soit entretenue toujours à la hauteur d'un demi-pied, et où elle puisse s'échapper par un orifice d'un pied quarré, et percé dans une mince paroi : il est certain qu'on observera alors un entonnoir (§ 22) au-dessus de l'orifice, et que par conséquent la dépense du vase sera considérablement moindre que si cet entonnoir n'existoit pas.

Rien ne nous empêche de considérer chaque côté de l'orifice comme l'extrémité d'un canal horizontal par laquelle l'eau s'échappe librement : or la vîtesse moyenne de l'eau, à l'extrémité de ces canaux horizontaux, est les $\frac{2}{3}$ de la plus grande vîtesse. La dépense par le fond entier du vase sera donc à la dépense par une des ouvertures verticales, :: 1 : $\frac{2}{6}$ :: 3 : 1 : donc la dépense par le fond sera, à celle des quatre ouvertures verticales, :: 3 : 4. Mais l'existence de l'entonnoir annonce une diminution considérable dans la dépense du vase : si cette cause la diminuoit d'un tiers, la dépense réelle par le fond seroit, à la dépense par les quatre ouvertures verticales, :: 2 : 4.

Il est évident que la disposition de l'eau, telle que nous l'avons

N

indiquée dans le vase, favorise davantage l'écoulement d'une plus grande quantité de ce fluide que s'il s'échappoit seulement par l'extrémité de quatre canaux horizontaux qui viendroient aboutir à l'orifice.

Je dois observer encore que l'effet de la contraction, qui diminue tant la dépense par le fond, ne sauroit affecter aussi fortement l'écoulement qui a lieu par les ouvertures verticales. Il est donc bien prouvé, dans ce cas-ci, que la dépense par l'extrémité des canaux horizontaux, déduite par la théorie de Guglielmini, est beaucoup plus considérable qu'elle ne l'est réellement.

186. La maniere dont Guglielmini démontroit la seconde proposition de son troisieme livre de la *Mesure des eaux courantes* étoit peu concluante. Il établissoit, avec raison, qu'en enfonçant verticalement dans le canal une vanne, la face du côté d'amont éprouvoit une pression égale à celle qu'elle auroit éprouvée si elle eût été placée à l'extrémité du même canal; il ajoutoit ensuite qu'en imaginant cette vanne percée d'une infinité de petits trous, l'eau devoit s'échapper par ces trous aussi librement que par l'extrémité du canal, ou bien que l'eau devoit couler par une section quelconque du canal horizontal avec la même facilité que par son extrémité.

L'expérience n'indiquoit aucune augmentation de vîtesse, de la surface au fond, dans les canaux horizontaux réguliers. Il n'étoit pas possible d'attribuer au frottement une altération aussi grande dans les loix du mouvement, d'autant mieux que cette altération n'avoit pas lieu à l'extrémité du canal, où l'accélération de la surface au fond étoit constamment très apparente. Aussi, parmi les auteurs qui ont écrit sur l'hydraulique, le plus grand nombre n'a osé affirmer que le mouvement de l'eau dans les canaux horizontaux suivît exactement les loix que Guglielmini avoit assignées. Il s'est trouvé d'autres auteurs qui ont établi que la vîtesse de l'eau, dans un canal, étoit la même à la surface qu'à différentes profondeurs; mais ce qui est singulier, c'est que ceux-ci mêmes aient employé la théorie

de Guglielmini pour le cas où l'eau couloit librement par l'extrémité d'un canal horizontal. Ainsi, selon eux, les sections étant égales, la vîtesse moyenne à l'orifice est beaucoup plus considérable que dans le reste du canal.

187. On peut démontrer avec la plus grande facilité la fausseté de la proposition II du IIIe livre de Guglielmini. Qu'on imagine en effet, à la place d'une section quelconque, une vanne verticale qui ait la même dimension que le canal, et qui ait précisément la même vîtesse que l'eau: cette vanne sera évidemment pressée (§ 132), du côté d'amont, de la même maniere que si l'eau étoit en repos et que la vanne fût fixée; mais comme on suppose que l'eau a la même élévation au-dessus et au-dessous de la vanne, et comme ce fluide exerce sa pression dans tous les sens, la face de la vanne, du côté d'aval, sera pressée absolument de la même maniere que la face du côté d'amont. Ainsi, en faisant un trou à telle partie de la vanne qu'on voudroit choisir, l'eau, en vertu des pressions égales exercées tant du côté d'amont que du côté d'aval, ne couleroit pas davantage par ce trou qu'elle ne le feroit par un orifice percé au fond, ou sur les faces d'un réservoir où l'on auroit appliqué un tampon qui pût résister à la pression exercée par le fluide.

Il est donc évident que, quand la surface de l'eau est horizontale dans un canal, toutes les colonnes de ce fluide se contre-balancent et sont en équilibre : les tranches les plus basses supportent le poids des supérieures ; mais elles n'ont et ne peuvent guere avoir (1) que le mouvement de celles-là, et le mouvement a dû être communiqué aux unes et aux autres.

188. Voici une expérience qui démontre aux yeux que l'effet de la pression est le même dans un canal horizontal, soit que le fluide y soit en repos, soit qu'il y soit animé d'une vîtesse quelconque.

(1) Il pourroit arriver que la vîtesse de l'eau vers le fond fût moindre qu'à la surface, et même qu'il y eût des courants opposés sur la même profondeur: dans tous ces cas, la pression seroit toujours invariable si la surface de l'eau restoit horizontale.

Prenez un tuyau de verre d'un pouce de diametre environ, ouvert par les deux bouts, et enfoncez-le d'abord en partie dans le canal de maniere qu'il forme un angle aigu avec le courant du côté d'aval : vous observerez alors que plus l'eau aura de vîtesse dans le canal, plus la direction du tuyau pourra être rapprochée de la verticale, sans empêcher l'eau de s'y élever, de le remplir, et de couler par l'extrémité supérieure.

Mais si on place ce tuyau de maniere que sa direction forme un angle aigu avec le courant du côté d'amont, l'ouverture inférieure et la position du tuyau n'étant pas dans le sens de la vîtesse imprimée à l'eau, ce fluide ne s'éleveroit pas dans le tuyau sans la pression ; et comme il s'y élevera exactement au niveau de l'eau du canal, on conclura que la pression exercée par les tranches supérieures sur les inférieures, dans un canal horizontal où l'eau est animée d'une vîtesse quelconque, est précisément la même que si l'eau étoit en repos.

189. Si un canal horizontal n'étoit pas entretenu toujours plein, en anéantissant une des vannes qui ferment ses extrémités, l'eau qu'il renferme ne laisseroit pas de couler : mais ce fluide ne s'abaisseroit pas par-tout de la même maniere. Comme il n'y a que celui qui est voisin de l'orifice qui puisse d'abord tomber à mesure qu'il s'échappe, l'équilibre qui existoit avec les parties supérieures est détruit ; le niveau de celles-ci s'abaisse, et cette espece d'écroulement s'étend par degrés jusqu'à l'autre extrémité du canal où les tranches conservent la plus grande élévation. La surface de l'eau s'incline ainsi à l'horizon dans toute son étendue ; mais comme il ne peut sortir par l'orifice que la quantité d'eau fournie par les sections supérieures, le fluide prend à ce point une élévation relative à la quantité qu'il s'en présente pour tomber.

190. Il est évident que l'eau ne sauroit rester de niveau à une certaine distance de l'orifice ; car alors, en prenant à cet endroit une tranche quelconque, toutes les particules d'eau dont elle seroit composée éprouveroient une pression égale de la part des

tranches supérieures et inférieures, et il n'existeroit ainsi aucune cause qui pût mettre l'eau en mouvement. Il est évident encore, dans ce cas, que l'eau ne se meut pas avec une vîtesse égale dans toutes les tranches et dans toutes les parties de chaque tranche, puisque toutes les tranches ou sections sont inégales. Le mouvement du fluide est alors un véritable écroulement. Ce sont les parties les plus voisines de la surface qui ont la plus grande vîtesse loin de l'orifice; et, à l'orifice même, le contraire a lieu.

191. Il n'a été question jusqu'ici que de canaux horizontaux; mais ces canaux peuvent être inclinés, et il se présente alors différents cas. Si le fond du canal est incliné, et si l'orifice est fermé par une vanne, la surface de l'eau sera d'abord de niveau; mais si on anéantit subitement la vanne, à mesure que l'eau coulera sa surface s'inclinera par degrés, et cette inclinaison pourra même devenir plus grande que celle du fond du canal. Cela arrivera constamment, si l'eau va toujours en s'accélérant le long du canal jusqu'à l'orifice. Mais si on suppose que la vîtesse de l'eau, dans le canal incliné, soit uniforme, alors la surface de ce fluide sera parallele au fond du canal jusqu'au voisinage de l'orifice; et, vers ce point, la pression modifiera le mouvement de l'eau de la même maniere que nous l'avons indiqué pour le cas où le canal est horizontal. Il est inutile de rappeller que les points situés sur la ligne AB éprouvent des pressions différentes selon l'inclinaison du canal.

192. (*Figure* 39.) Dans la théorie de Guglielmini, on suppose, comme dans les canaux horizontaux, que la vîtesse à la surface est moindre qu'au fond. Pour déterminer la vîtesse moyenne, lorsqu'on connoît la longueur AB d'un canal, sa pente ou l'angle BAE, et la hauteur BC de l'eau à l'extrémité du canal, on tire l'horizontale AL jusqu'à ce qu'elle rencontre la perpendiculaire BL élevée à l'extrémité de la longueur du canal; on construit sur BL, comme axe, une parabole LGH; les ordonnées aux points C et B représentent les vîtesses acquises par les chûtes CE, BF; l'ordonnée moyenne, entre celles-là, représente la vîtesse moyenne de l'eau en sortant du canal.

Nous ne renouvellerons pas ici des réflexions analogues à celles que nous avons faites sur la théorie de Guglielmini relativement à la vîtesse de l'eau dans des canaux horizontaux; nous observerons seulement que, si la vîtesse, dans les canaux inclinés, est uniforme, la pression sur tous les points situés parallèlement au fond est la même, et que le cas où se trouve alors l'eau se réduit à celui où elle couleroit, dans un canal horizontal, avec la vîtesse uniforme dont elle est animée, et seulement avec une pesanteur qui fût à la pesanteur absolue comme la largeur du plan incliné est à sa longueur.

SECTION XVII.

Phénomenes principaux de l'écoulement de l'eau par des canaux horizontaux et inclinés.

193. En indiquant les loix que suit le mouvement de l'eau à sa sortie par des canaux horizontaux, nous avons supposé que ce fluide pouvoit être animé de différentes vîtesses. Il est inutile de dire que ces vîtesses ne prennent point naissance sur les canaux horizontaux; mais on peut imaginer aisément qu'elles sont produites par l'accélération, soit que l'eau eût coulé déja sur un plan incliné, soit qu'elle s'échappât par des orifices percés sur les faces de vases entretenus toujours pleins à une hauteur requise.

M. l'abbé Bossut a fait un grand nombre d'expériences sur l'écoulement de l'eau animée de différentes vîtesses dans des canaux horizontaux et inclinés. Comme il n'a employé que des volumes d'eau peu considérables, des vîtesses fort grandes, et des canaux dont les parois étoient bien polies, on ne pourroit pas généraliser ses résultats, et conclure des cas qu'il a embrassés dans ses recherches, ce qui arriveroit si les volumes d'eau étoient plus considérables, leur vîtesse uniforme moindre, et la surface des canaux moins réguliere. Les expériences de cet académicien célebre offrent pourtant des phénomenes qu'il est très important de connoître.

194. Imaginons qu'on ait un réservoir d'une hauteur indétermi-

née entretenu toujours plein, percé, sur une de ses faces, d'un orifice qu'on puisse augmenter à volonté, et dont la surface soit toujours telle, que la vîtesse de chaque particule d'eau qui tend à s'échapper puisse être regardée comme égale à celle que la chûte libre de sa distance au niveau pourroit produire; supposons enfin qu'on adapte à cet orifice un canal ouvert par le haut, qui ait précisément la même largeur que l'orifice, qui soit situé horizontalement et d'une longueur un peu considérable.

Si on entretient l'eau dans le réservoir à une hauteur constante, et si on observe le cours de l'eau dans le canal; on remarquera, 1°. que la vîtesse ira toujours en diminuant à mesure que l'eau s'éloignera davantage du réservoir, c'est-à-dire qu'il faudra toujours plus de temps à l'eau pour parcourir le même espace à mesure que cet espace sera plus éloigné de l'orifice.

2°. Que la premiere eau (1) mettra plus de temps à arriver à l'extrémité du canal que celle qui sortira ensuite de l'orifice, et qui ne coulera que lorsque le cours sera bien établi.

3°. Que la surface de l'eau ne sera pas inclinée uniquement vers l'orifice; elle sera convexe, de maniere que les sections verticales augmenteront en hauteur jusqu'à une certaine distance, et qu'ensuite l'inclinaison aura lieu du côté de l'orifice.

4°. Que, malgré la retardation que l'eau éprouve en frottant contre les parois du canal, la dépense à l'extrémité de ce canal ne differe pas de celle qui a lieu lorsqu'on supprime le canal, et que l'eau sort immédiatement par l'orifice.

5°. Que, sous une même vîtesse initiale du fluide, les canaux qui ont de la pente sont parcourus en moins de temps que les canaux horizontaux; et que, sous la même pente et la même vîtesse initiale, les canaux de même longueur sont parcourus plutôt lorsque le volume de l'eau est plus grand. Cet effet vient de ce que,

(1) Cela n'est vrai que lorsque la vîtesse moyenne est plus grande que celle que la hauteur vive de l'eau peut occasionner.

dans le dernier cas, le frottement est moins considérable, et de ce qu'une plus grande masse d'eau conserve mieux sa vîtesse; et éprouve moins de résistance de la part de l'air: d'ailleurs les vîtesses ne sont pas, à beaucoup près, proportionnelles aux volumes d'eau qui s'échappent dans le même temps.

6°. Puisque deux orifices de même surface donnent la même quantité d'eau, si la vîtesse initiale est la même, il suit que, dans deux canaux horizontaux, ou peu inclinés, adaptés à ces orifices, les sections, prises à la même distance des orifices, seront égales, en supposant pourtant que la vîtesse initiale, modifiée par le frottement, reste supérieure à celle que pourroit produire la chûte libre par l'orifice.

7°. Le canal et l'ouverture du réservoir restant les mêmes, si la hauteur de l'eau dans le réservoir augmente, les sections de l'eau dans le canal resteront constantes, tandis que la vîtesse augmentera toujours. Ainsi, les hauteurs du réservoir étant représentées successivement par 1, 4, 9, 16, 25, etc. les vîtesses correspondantes à ces hauteurs seront entre elles comme 1, 2, 3, 4, 5, etc. On doit donc regarder comme une vérité constante que la vîtesse que peut avoir l'eau dans un canal n'est déterminée ni par la pente de ce canal ni par l'élévation de l'eau.

SECTION XVIII.

Du mouvement de l'eau dans des canaux horizontaux, ou peu inclinés, qui aboutissent à des réservoirs, et à l'extrémité desquels ce fluide ne tombe pas librement.

195. Nous avons déterminé (§ 151) la moindre vîtesse moyenne que pût avoir l'eau d'un canal horizontal ou peu incliné, pour que l'eau pût y couler et s'échapper par un orifice vertical avec une hauteur donnée; mais si à l'orifice il n'y avoit pas une chûte, et si l'eau s'échappoit dans un réservoir, la hauteur de l'eau dans le canal et sa vîtesse n'auroient aucune correspondance lorsque son

cours

cours seroit établi; c'est-à-dire que la hauteur des sections pourroit être très grande, et la vîtesse très petite.

SECTION XIX.

Du mouvement de l'eau dans des canaux avant que son cours y soit établi.

196. DANS l'instant où un volume d'eau considérable entre dans un canal, les tranches les plus basses ont d'abord une grande vîtesse: ce sont celles qui coulent les premieres. Mais à mesure qu'elles éprouvent successivement de nouvelles résistances, leur mouvement se ralentit; les tranches supérieures arrivent, et parviennent à précéder les premieres. Elles se succedent ainsi les unes les autres; et lorsque, par l'effet de la résistance qu'elles ont pu éprouver, elles se sont mêlées et comme confondues, l'eau coule, avec un mouvement régulier dans toutes les tranches, jusqu'au voisinage de l'orifice, où il se forme un écroulement, ainsi que nous l'avons dit (§ 126.)

SECTION XX.

De l'union, dans un canal unique, de l'eau qui couloit d'abord dans différents canaux.

197. EN supposant qu'on adaptât au réservoir dont il a été question au § 194, différents canaux horizontaux semblablement construits, de mêmes largeur et hauteur, et dont la distance au niveau de l'eau fût la même, il est évident que le fluide présenteroit les mêmes phénomenes dans toutes les parties semblablement placées de ces canaux.

198. Il est évident encore que, si on rapprochoit deux des orifices formés sur le réservoir de maniere qu'on pût y adapter un canal de même hauteur que les précédents, mais d'une largeur double, en n'ayant aucun égard au frottement, l'eau couleroit de la même maniere dans le canal double que dans le simple; mais

O

comme, dans le grand canal, le frottement contre deux bords est détruit, la vîtesse moyenne de l'eau y doit être plus considérable. On voit ainsi qu'en conservant la même hauteur à l'orifice ou au canal, l'augmentation du volume d'eau ne contribue à l'augmentation de la vîtesse que parcequ'alors le frottement diminue. L'effet de cette cause est d'autant plus sensible, que les volumes d'eau sont moindres; et il devient, pour ainsi dire, nul, dès que les volumes d'eau sont considérables.

199. En supposant que la vîtesse primitive dans le canal horizontal fût plus grande que celle que peut produire la hauteur de l'eau à la sortie du canal, l'augmentation du volume d'eau ne change rien à la vîtesse, soit que la plus grande dimension du canal soit dans le sens horizontal ou dans le sens vertical; mais, dans le cas où il y auroit peu de différence entre la vîtesse primitive et celle que pourroit produire l'eau près de sa sortie, l'eau couleroit moins facilement dans le canal qui auroit la dimension verticale plus grande. En effet, soit que le frottement que l'eau éprouve soit relatif à la pression que le fluide exerce contre le fond et les bords d'un canal rectangulaire, soit qu'il ne dépende que de l'étendue des parties frottantes, les sections étant les mêmes, il sera plus grand dans celui des canaux dont la dimension verticale sera plus grande.

200. En imaginant deux canaux horizontaux de mêmes hauteur et largeur, séparés, dans toute leur longueur, par une vanne fort mince, entretenus par des réservoirs de hauteur inégale, et dans lesquels par conséquent l'eau ait une vîtesse différente, mais telle cependant que, dans le canal où elle est la plus foible, elle soit encore plus grande que celle que pourroit produire la hauteur à l'extrémité du canal; lorsque le cours de l'eau sera établi dans les deux canaux, la pression exercée sur la vanne qui les sépare sera la même des deux côtés, puisque l'eau s'y soutient à une hauteur égale. En supprimant donc cette vanne, l'écoulement aura lieu, sans qu'il arrive aucun changement à la hauteur des sections des canaux réunis. On observera seulement que l'eau qui aura plus

de vîtesse en communiquera une partie à celle qui en a moins. On remarquera dans les canaux réunis un grand nombre de courants animé de vîtesses différentes: pourtant, à proportion que le cours de ces canaux sera plus grand, le mélange des eaux se fera d'une maniere plus complete, et elles prendront une vîtesse moyenne entre la plus grande et la plus petite.

201. Au lieu de deux canaux, on pourra en réunir trois, quatre, cinq, ou tel nombre qu'on voudra, sans que la hauteur des sections augmente malgré la diversité des vîtesses; on observera seulement une plus grande variété dans les courants particuliers.

202. Il se formeroit encore un grand nombre de courants différents, si on adaptoit à un orifice un canal qui eût même hauteur, mais une largeur plus considérable. Le plus grand courant répondroit au milieu du canal; et comme l'eau, en sortant de l'orifice, ne sera pas soutenue par les côtés, elle coulera, vers les bords, dans une direction relative aux effets de la pression et de la vîtesse primitive. Comme ces courants latéraux seront toujours entretenus par le courant principal, il est nécessaire que celui-ci ait toujours une plus grande élévation. La surface de l'eau ne sera pas, dans ce cas, horizontale, mais convexe; et la plus grande hauteur répondra au milieu du plus grand courant.

203. Si on avoit un canal dans lequel l'eau eût une vîtesse suffisante pour fournir à l'écoulement relatif à une hauteur donnée, à l'endroit où elle s'échappe librement; si on adaptoit ensuite à l'extrémité de ce canal un autre canal qui, avec la même hauteur, n'eût que la moitié de la largeur du premier, il seroit impossible de lui faire recevoir toute l'eau du grand canal. En effet, imaginons que le grand canal soit fermé à son extrémité, et qu'on y pratique sur toute sa hauteur un orifice rectangulaire égal à la moitié du fond absolu, il sera aisé de déterminer, au moyen de la théorie développée au § 146, 15, la quantité d'eau qui s'échappera par cet orifice, et la partie de ce fluide qui, ne pouvant pas suivre cette route, se vuidera en versant au-dessus des bords du grand canal.

Il suit de cette théorie, que plus la vîtesse dans le canal sera grande, plus il sortira d'eau par-dessus ses bords; et si cette vîtesse pouvoit devenir infinie, alors il ne sortiroit plus par l'orifice que la moitié de l'eau qui coule dans le canal.

204. Il est donc certain que l'eau qui se meut avec une vîtesse acquise, et qui occupe un espace déterminé à chaque instant, ne peut pas être réduite à paroître occuper un espace plus petit, ou à acquérir plus de vîtesse, si on ne peut augmenter sa pente, ou si on ne peut la faire agir et peser sur elle-même, car il n'existe que ces deux moyens pour produire la vîtesse.

205. Cependant, si les bords du grand canal étoient assez élevés pour ne pas permettre à l'eau de les franchir, ce fluide s'y éleveroit jusqu'à ce qu'il parvînt à une hauteur suffisante pour qu'il sortît par l'orifice autant d'eau qu'il en entre dans le grand canal.

206. En général, connoissant la vîtesse de l'eau dans un canal, l'espace qu'elle y occupe, avec la largeur de la vanne qu'on a employée pour fermer une partie du canal à l'endroit où l'eau s'écouleroit librement, il sera toujours aisé, d'après nos principes (§ 158), de fixer la hauteur à laquelle l'eau s'élevera, pour qu'il puisse sortir, par l'orifice qu'on aura conservé, la quantité d'eau que le canal reçoit.

207. La théorie que j'ai donnée sur l'écoulement de l'eau par des ouvertures verticales, est entièrement analogue à celle où les orifices sont percés dans le fond des vases. J'ai supposé, dans l'une et dans l'autre, que ce n'étoit pas seulement l'eau qui répondoit à l'ouverture, qui s'écoulât, mais bien toute celle qui pressoit le fond absolu; j'ai supposé enfin que cette eau s'écouloit avec une facilité extrême, et en raison de la pression qu'elle pouvoit exercer. Je voulus voir jusqu'à quel point l'expérience confirmoit mes suppositions. Je vais rendre compte de quelques uns des résultats que j'obtins.

208. Je profitai d'un canal rectangulaire taillé dans du tuf qui sert pour une fabrique de soie, et qui est entretenu par une riviere: sa pente est assez sensible à son origine, et sa vîtesse un peu

irréguliere; mais bientôt la résistance du fond et des bords y rend le mouvement uniforme. Dans la partie du canal que je choisis, l'eau parcouroit constamment 10 pieds en 6 secondes. La hauteur de ce fluide étoit de 4 pouces $\frac{1}{2}$, et la largeur du canal de 15 pouces $\frac{1}{2}$. J'avois une vanne garnie de linge au fond et sur un de ses côtés, de maniere qu'elle ne permît pas à l'eau de s'échapper par ces endroits; je la disposai d'abord de façon qu'elle diminuât de moitié la largeur du canal: le niveau de l'eau s'éleva alors et se soutint au-dessus de la vanne à 7 pouces $\frac{1}{2}$ de hauteur.

La vîtesse moyenne, dans le canal, étoit de 20 pouces par seconde. Sa dépense, dans le même temps, étoit exprimée par $20 \times 15\frac{1}{2} \times 4\frac{1}{2} = 1395$ pouces.

En calculant, d'après les principes du § 158, la quantité d'eau qui s'échappoit par une hauteur de 7 $\frac{1}{2}$ pouces, et lorsque l'orifice étoit la moitié du fond absolu, je trouvai 2152 pouces cubes pour la dépense du canal: mais la contraction diminuoit cette dépense. En supposant que son effet fût le même que pour les petits orifices, la dépense réelle et effective seroit de 1435 pouces.

209. Je sais que, pour déterminer la dépense d'un canal avec exactitude, il n'est pas de meilleur moyen que de recevoir, pendant un temps déterminé, les eaux qu'il fournit dans un réservoir dont la capacité est connue: mais cette méthode, si directe et si décisive, est rarement praticable lorsque le volume d'eau est considérable, et les circonstances ne m'ont jamais permis de l'employer. J'ai été réduit à conclure la vîtesse de l'eau dans un canal de celle que prenoient, dans un temps déterminé, des corps de même pesanteur spécifique que j'y faisois flotter.

Dans les canaux les plus réguliers, le frottement contre le fond et les bords altere considérablement la vîtesse de l'eau. Aussi ce n'est qu'après bien des essais qu'on peut fixer avec quelque exactitude la vîtesse moyenne de ce fluide; et les résultats qu'on obtient de cette maniere ne sont jamais parfaitement satisfaisants. Je ne publierai pas d'autres expériences que j'ai essayé de faire,

parceque je n'ai pas pu leur assurer assez d'exactitude pour inspirer en leur faveur une confiance parfaite.

Dans les ouvrages d'hydraulique, on a si bien fixé la contraction pour les petits orifices, qu'on détermine très exactement alors les loix de l'écoulement: mais on n'a point fait d'expériences pour les cas où les orifices sont grands; et ce ne sera qu'après qu'on aura établi des loix analogues à celles des petits orifices, qu'on pourra déterminer avec quelque exactitude les dépenses qui ont lieu par des ouvertures fort grandes par rapport au fond. En attendant que ce travail, qui seroit utile pour le cas où les ouvertures sont verticales, soit fait, je pense qu'on pourroit suivre mes principes, et diminuer la dépense qu'ils indiqueroient, comme si la contraction étoit la même que pour les petits orifices. Il est certain qu'en employant alors la théorie ordinaire, on aura des dépenses plus grandes que celles qu'on doit avoir.

210. Je ne m'arrête pas davantage sur cet objet, pour m'occuper du cas où l'eau tombe librement à l'extrémité du réservoir FC (*figure* 22). J'ai profité d'un canal régulier, bien poli intérieurement, et coupé d'intervalle en intervalle par des réservoirs FC élevés de maniere que l'eau au-dessous de FP étoit sensiblement stagnante. Le point où la surface de l'eau s'abaissoit m'a paru éloigné du point B de la quantité BF. Les corps légers qui étoient entraînés sur la hauteur AP me paroissoient souvent avoir moins de vîtesse à proportion qu'ils étoient plus voisins de PF. Ce n'étoit que lorsque l'eau étoit parvenue à une distance du point F, marquée à peu près par la hauteur BF, que ce fluide tomboit librement, et que le mouvement des tranches les plus basses s'accéléroit subitement. Un tuyau de verre, ouvert par les deux bouts, enfoncé dans l'eau, tenu verticalement, ou incliné en amont du réservoir, soutenoit en AP une colonne de fluide qui étoit de niveau avec AB, et il ne se vuidoit que lorsqu'on approchoit trop son bout inférieur du sommet du réservoir.

En mesurant la vîtesse de l'eau, au moyen de corps légers, dans

une autre partie du canal où le mouvement de ce fluide étoit régulier, j'avois trouvé des dépenses si approchantes de celle qu'on déduit en calculant d'après la théorie de Guglielmini, et en prenant la moitié du résultat, que je ne doutois point de la vérité du principe que j'avois avancé le premier. Toutes les fois que j'ai été dans le cas d'examiner ce qui se passe lorsque des volumes d'eau un peu considérables s'échappent librement au-dessus d'un réservoir profond, j'ai fait des observations constamment analogues à celles que j'ai d'abord rapportées; mais je n'ai jamais eu le bonheur de trouver un local qui me permît de recevoir la dépense fournie par un réservoir, et de la mesurer avec une exactitude rigoureuse. Mon ouvrage étoit achevé depuis plus de trois ans, et j'allois le publier, lorsque j'ai lu la nouvelle édition de l'Hydraulique de M. de Buat. J'y ai cherché avec empressement les expériences qu'il a faites sur les dépenses au-dessus des réservoirs; j'ai vu avec regret qu'il n'y en avoit aucune qui fût faite avec les conditions que j'exige, et qui sont essentielles. Je vais les mettre sous les yeux des lecteurs, en y ajoutant quelques réflexions, et je pourrai prouver cependant qu'elles renferment la démonstration de la regle que j'ai donnée.

211. Cet auteur, dont je respecte infiniment le zele et les lumieres, avoit très bien prouvé, dans son premier ouvrage, que la théorie de Guglielmini pour les canaux horizontaux ne méritoit aucune confiance; mais lorsqu'il voulut déterminer la quantité d'eau qui s'échappoit librement au-dessus d'un réservoir, il adopta les principes de l'auteur italien, sans faire attention qu'il se contredisoit lui-même. En effet, soit DC, *figure* 22, le fond d'un canal horizontal, AB la surface de l'eau, FC un réservoir. Puisqu'il faut déterminer la quantité d'eau qui s'échappe sur la hauteur BF, toute celle qui est au-dessous du point F ne doit être comptée pour rien. Ainsi, en menant une ligne PF parallele au fond, c'est la partie comprise entre PF et AB qui doit fournir à la dépense immédiatement au-dessus du réservoir. Mais en adoptant la théorie de Guglielmini pour le réservoir, il faut l'admettre dans la partie supérieure

du canal; autrement la dépense, à l'extrémité du canal, seroit plus considérable qu'au-dessus, ce qui seroit absurde.

212. M. de Buat a réformé ses premieres idées; il a reconnu que la théorie ordinaire ne pouvoit pas être adoptée; il a dit que tout se passoit comme si l'eau s'écouloit par-dessous une vanne abaissée de B en I, derriere laquelle l'eau se tiendroit de niveau à la superficie AB du bassin, et que cette hauteur BI étoit sensiblement la moitié de BF.

On peut observer à M. de Buat que, puisque l'eau tombe sur toute la hauteur BF, elle doit prendre des vîtesses différentes sur toute cette élévation; et on ne conçoit pas pourquoi elle commenceroit seulement d'avoir en I une vîtesse considérable, et égale à celle que la chûte par la hauteur BI peut produire.

213. C'est d'après des expériences que M. de Buat s'est décidé à donner de nouvelles regles. Je supposerai ces expériences parfaitement exactes. Les quatre premieres sont relatives à la chûte des eaux par un réservoir complet; mais ce fluide éprouve sur les côtés et sur le fond une contraction. Dans la table suivante, la premiere colonne représente l'ordre des expériences; la seconde, la dépense déterminée par la théorie de Guglielmini; la troisieme, la dépense trouvée par l'expérience; et la quatrieme, la dépense donnée par la théorie de Guglielmini, mais corrigée de l'effet de la contraction, en supposant qu'il diminuât d'un tiers cette dépense (1).

185	660 pou.	432 pou.	440 pou.
186	1552	1004	1035
187	2717	1776	1806
188	4754	3110	3170

Le lit du canal, dans les expériences de M. de Buat, étoit fermé sur une étendue KMNT, *figure* 22, qu'il ne détermine pas; et, sur cette étendue, il y avoit un orifice formé par la partie la plus élevée

(1) M. de Buat, tom. I. pag. 201.

RS du réservoir par le niveau LO de l'eau dans le canal, et par les extrémités OS et RL de deux vannes latérales. Or, dans cette supposition, ce n'étoit pas seulement l'eau qui répondoit à l'orifice qui pouvoit tomber, mais encore celle qui arrivoit des deux côtés du réservoir et du dessous de son niveau. Sans doute que l'orifice LRSO étoit assez petit relativement à l'espace qui pouvoit être regardé comme le fond absolu. Aussi la dépense, calculée comme si l'orifice eût été fort petit, et corrigée de l'effet de la contraction, donne des résultats très approchants de ceux de l'expérience, ainsi qu'on peut le voir en comparant les nombres correspondants dans les deux dernieres colonnes de la table.

214. M. de Buat fit d'autres expériences, où la contraction latérale étoit détruite, et où l'eau tomboit librement par un réservoir sur toute la largeur du canal. Dans la table suivante, la premiere colonne représente l'ordre des expériences; la seconde, la dépense déterminée par la théorie de Guglielmini; la troisieme, la dépense déduite de mes principes, et qui est, dans ce cas, la moitié de celle de Guglielmini; et la quatrieme, la dépense trouvée par l'expérience (1).

189	5076pou.	2538pou.	3888pou.
190	3030	1515	2462
191	1476	738	1112
192	410	205	259

215. Dans ces expériences, la contraction est détruite. M. de Buat ne dit pas si son canal avoit la forme d'un trapeze. Je le présume cependant, et alors cette disposition contribueroit à augmenter un peu la dépense. Le même auteur observe que, la contraction sur les côtés étant détruite, la dépense doit être plus grande. Il est impossible d'être de son avis; et il est évident que, s'il a eu des dépenses plus grandes, il faut les attribuer à une autre cause qu'il

(1) Tom. I, pag. 206; et tom. II, pag. 115.

indique très bien lui-même par le tableau que nous donnerons d'une de ses expériences, et par les expressions suivantes (page 205) : *Nous avons remarqué dans notre canal que l'eau du fond couloit jusqu'à l'amont du réservoir, et qu'après l'avoir choqué, elle se relevoit pour passer au-dessus.* Ainsi ce n'étoit pas seulement l'eau du dessus du réservoir qui tomboit, celle du dessous contribuoit beaucoup à augmenter la dépense. En général, la hauteur de l'eau étant la même dans le canal, cette dépense doit être d'autant plus grande, que la vîtesse en amont du réservoir est plus considérable, et que la hauteur du réservoir sur le fond est plus petite. J'ai fait cette remarque importante dans mon ouvrage. Pour que les expériences de M. de Buat pussent servir à indiquer la vraie dépense produite par la chûte libre au-dessus d'un réservoir complet, il auroit fallu que la hauteur du réservoir eût été assez grande pour que l'eau, placée au-dessous du niveau de la partie supérieure de ce réservoir, fût comme stagnante. Dans toutes les expériences de M. de Buat, la hauteur du réservoir étoit la même; et on peut remarquer qu'à mesure que la vîtesse dans le canal diminuoit, la dépense diminuoit aussi. Le résultat de la premiere expérience excede celui de ma théorie d'un tiers. Dans la troisieme expérience, l'excès n'est plus que d'un quart; et, dans la quatrieme, il n'est plus que d'un cinquieme. Je ne doute point que, si les conditions que ma théorie exige eussent été exactement remplies, elle n'eût été immédiatement justifiée par les expériences de M. de Buat.

216. J'ai dit que les expériences de M. de Buat me fourniroient cependant la démonstration de mon principe. J'ai observé que, pour déterminer la quantité d'eau qui tomberoit librement à l'extrémité d'un canal horizontal, il faudroit, en employant un réservoir, rendre stagnante l'eau qui est au-dessous de PF. Dans les expériences de M. de Buat, ces eaux inférieures contribuoient à augmenter la dépense. Si on connoissoit leur vîtesse, on sauroit combien elles ont influé sur cet effet, et on détermineroit par une soustraction la dépense particuliere produite par la chûte libre des eaux qui sont

au-dessus de PF. Or M. de Buat a fait précisément des expériences relatives à cet objet à la suite de l'expérience 191 (page 120, tom. II) ; et voici la table qui les renferme :

Profondeur d'eau dans le canal, à partir de la prise d'eau.	Espaces parcourus par l'eau au-dessus du réservoir.	Nombre de secondes employées à parcourir les espaces correspondants.		Vitesse, par seconde, de l'eau dans le canal.	
		à la surface.	au fond.	à la surface.	au fond.
4 po. 5 lig.	0 toises.	0″	0″	0 po.	0 po.
4 5	2	8	14 ½	18	9,93
4 6	2	8	14 ½	18	9,93
4 7	1	8	16	18	9
4 9 ½	1	8	16	18	9
5 0	1	9 ½	17	15,15	8,47
5 5	1	9 ½	17	15,15	8,47
5 6	1	9 ½	18	15,15	8
5 8 ½	1	9 ½	18	15,15	8
5 9	1	11	19	13,09	7,57
6 0	1	11	19	13,09	7,57
6 1	1	11	20	13,09	7,2
6 2	1	11	20	13,09	7,2
6 4	1	12	20 ½	12,0	7,02
6 6 ½	1	12	20 ½	12,0	7,02
6 9	1	13	23 ½	11,07	6,12
7 1	1	13	23 ½	11,07	6,12
7 3	1	15	25	9,6	5,76

217. Employons l'expérience faite assez près du réservoir, lorsque la profondeur de l'eau dans le canal est de 7 pouces 3 lignes. La hauteur du réservoir est de 4 pouces 1 ligne ; la vitesse des eaux près du fond DC est de 5,76 pouces, ou de 5 pouces $\frac{3}{4}$; la largeur du réservoir est de 17 pouces $\frac{1}{2}$: la dépense des eaux qui sont au-dessous de PF sera donc exprimée par $17\frac{1}{2} \times 5\frac{3}{4} \times 4 = 402$ pouces cubes, lesquels étant retranchés de 1112, dépense totale de la 191 expérience, il restera 710 pouces pour la dépense des eaux supérieures à PF. Or ce nombre est à peu près le même que celui que ma théorie indique.

M. de Buat a prouvé, par de nombreuses expériences, que, même dans des canaux rectangulaires et très réguliers, la vitesse diminuoit

sensiblement de la surface au fond. Ce fait, qui étoit connu, et qui est incontestable, peut-il se concilier avec la regle que cet auteur a donnée pour déterminer la quantité d'eau qui peut s'échapper librement à l'extrémité d'un canal horizontal?

218. Toutes les fois que j'ai placé des vannes pour réduire les canaux à de moindres largeurs, j'ai observé que ces canaux présentoient, à une très petite distance au-dessous de l'endroit où les vannes étoient établies, les mêmes apparences que lorsque les vannes n'existoient pas, c'est-à-dire que l'eau reprenoit la même largeur, la même hauteur et la même vîtesse: mais le changement étoit souvent très considérable en amont, et s'étendoit fort loin, ainsi que nous l'exposerons bientôt.

219. On retarde le mouvement de l'eau dans un canal, et on fait hausser son niveau toutes les fois qu'on barre ce canal, en tout ou en partie, par des vannes; ce qui peut avoir lieu de plusieurs manieres: mais les phénomenes qu'on observe alors dépendent beaucoup de la vîtesse de l'eau comparée au volume qu'elle occupe.

Il convient, avant d'entrer dans des détails sur cet objet, de résoudre la question suivante: *Connoissant la vîtesse moyenne de l'eau dans un canal, la largeur de ce canal, et la hauteur que l'eau y occupe, déterminer la hauteur à laquelle le niveau de ce fluide s'élevera en barrant le canal en partie ou totalement, en supposant que l'eau puisse s'échapper librement en aval de la vanne.*

220. *Premier cas.* Lorsqu'on diminue la largeur du canal.

On calculera la dépense du canal en pieds et pouces cubes dans une seconde; on divisera le nombre qui représente cette dépense, par la largeur que la vanne laisse au canal, diminuée d'un tiers de cette largeur (1). Le quotient sera égal au produit de la hauteur de

(1) Si, dans un canal de 18 pouces de largeur, on réduisoit l'ouverture à 6 pouces, il faudroit calculer comme si elle étoit de 4 pouces. J'indique cette réduction, parceque je suppose que l'effet de la contraction diminue constamment la dépense d'un tiers.

l'orifice qu'on cherche par la vîtesse moyenne de l'eau relative à cette hauteur.

Pour déterminer la hauteur à laquelle le niveau de l'eau doit s'élever, il faut chercher un nombre tel, que son produit, par la vîtesse moyenne résultante de la chûte d'une hauteur égale aux $\frac{4}{9}$ de ce nombre, soit égal à une quantité donnée. J'appelle ce nombre x. Puisque les vîtesses moyennes par des chûtes différentes sont entre elles, dans le même temps, comme les racines des hauteurs, et sachant qu'une hauteur quelconque a peut produire une vîtesse v; la vîtesse V, produite par une chûte $= \frac{4}{9} x$, se trouvera en faisant la proportion $v : V :: \sqrt{a} : \sqrt{\frac{4}{9} x}$: d'où l'on tire $V = \frac{2}{3} v \sqrt{\frac{x}{a}}$. En multipliant cette vîtesse par la hauteur x, on aura $\frac{2}{3} v \sqrt{\frac{x^3}{a}}$; et comme ce produit doit être égal à une quantité déterminée que j'appelle b, on aura $\frac{2}{3} v \sqrt{\frac{x^3}{a}} = b$, d'où on tire $\frac{4}{9} \frac{v^2 x^3}{a} = b^2$; $x^3 = \frac{9 a b^2}{4 v^2}$; et finalement $x = \sqrt[3]{\frac{9 a b^2}{4 v^2}}$, qui représente la hauteur cherchée.

On se servira des principes (§ 158) pour déterminer la vîtesse dont on doit faire usage d'après le rapport qu'il y aura entre le fond absolu et l'orifice : cette attention est sur-tout nécessaire lorsque l'orifice est fort grand par rapport au fond.

Remarque.

221. En imaginant une ligne tirée horizontalement et en amont du point où s'éleve le niveau de l'eau près de la vanne, l'endroit où cette ligne coupera la surface du courant de l'eau avant l'existence de la vanne indiquera à peu près la plus grande distance où le remoux puisse se faire appercevoir. Cette détermination seroit rigoureusement exacte, si l'eau en amont de la vanne étoit horizontale; mais comme elle conserve toujours un peu de pente lors-

que la vîtesse moyenne devient fort petite, le remoux pourra s'étendre un peu au-dessus du point que nous avons indiqué.

222. Si, après avoir disposé une vanne de maniere que toute l'eau que le canal fournit pût s'échapper librement, on en établissoit une seconde à une certaine distance au-dessus qui réduisît le canal à la même largeur, il n'y auroit rien de changé à la hauteur de l'eau au-dessus de la vanne inférieure, puisqu'on suppose que l'orifice n'a que la largeur nécessaire pour laisser sortir une quantité d'eau égale à la dépense que le canal peut faire: mais les choses seront-elles, au-dessus de la vanne supérieure, dans le même état que lorsqu'il n'y a qu'une vanne?

Il est évident que, toutes choses égales, le remoux doit s'élever plus haut de toute la distance des vannes; il est évident encore que si, depuis la vanne supérieure jusqu'à l'inférieure, la pente est telle que l'eau puisse s'échapper librement par l'orifice supérieur, alors la vanne inférieure n'occasionnera aucun changement à l'état de l'eau au-dessus de la vanne supérieure: mais si, dans l'intervalle des deux vannes, l'eau éprouve des obstacles qui ne lui permettent pas de couler librement par l'orifice formé par la vanne supérieure, alors l'eau s'élevera davantage en amont de cette vanne que si l'inférieure n'eût pas existé. En connoissant l'élévation naturelle du niveau de l'eau, produite par les obstacles, au-dessous de l'orifice formé par la vanne supérieure, on déterminera aisément la hauteur à laquelle l'eau s'élevera au-dessus.

223. Si l'eau, avant l'établissement de la vanne, avoit, dans le canal, une vîtesse moyenne égale à celle que pourroit produire la chûte libre de la hauteur de son niveau, il seroit aisé, en plaçant une vanne dans le canal qui réduisît sa largeur d'une quantité connue, de déterminer la hauteur à laquelle l'eau s'éleveroit (§ 220); mais si, après avoir établi une vanne dans un canal où la vîtesse moyenne fût égale à celle que pourroit produire la chûte libre de la hauteur du niveau, on plaçoit une autre vanne au-dessus de la premiere, ce seroit la même chose que si, celle-ci n'existant pas,

l'eau du canal avoit une vîtesse moindre que celle que pourroit produire la chûte libre de la hauteur du niveau. Or, dans ce cas, on pourra toujours aisément réduire le canal (§ 220) à la largeur suffisante pour que l'eau, en s'écoulant librement, fasse la même dépense que le canal.

224. Le canal et la largeur des vannes ne changeant pas, et la vîtesse de l'eau augmentant, le remoux s'étendra plus loin, et le niveau de l'eau au-dessus des vannes s'élevera davantage. En effet, puisque la dépense par l'orifice doit être égale à celle du canal, la grandeur de l'orifice doit croître à mesure que la dépense est plus considérable; et comme la largeur est déterminée par la position de la vanne, sa hauteur doit augmenter nécessairement.

225. Nous avons supposé, dans tout ce que nous avons dit, que la vanne ne pouvoit pas être surmontée par l'eau qu'elle soutenoit: mais si l'eau affluente, en vertu de la vîtesse dont elle est animée, pouvoit franchir en partie ou en totalité la vanne, le remoux s'étendroit à une distance d'autant plus petite en amont, que la vîtesse de l'eau approcheroit davantage d'être suffisante pour s'élever entièrement au-dessus de la vanne; et si cela avoit lieu, le remoux seroit nul, et la vîtesse pourroit ensuite augmenter à l'infini, sans qu'il y eût rien de changé à cet effet.

226. *Second cas.* Lorsqu'on diminue la hauteur du canal en le barrant par en haut sur toute sa largeur.

Nous supposons nécessairement que l'ouverture qu'on laisse au-dessous de la vanne, après avoir barré le canal sur toute sa largeur, est moindre que celle qui seroit nécessaire pour permettre à l'eau de s'échapper librement. Or, dès que toute l'eau qui se présente à l'orifice ne pourra pas s'échapper, son niveau s'élevera d'autant plus, et le gonflement se fera appercevoir en amont sur une étendue d'autant plus considérable, que l'ouverture qu'on aura laissée sera plus petite, que la vîtesse de l'eau sera plus grande, et que la pente du canal sera moindre.

227. Si, connoissant la dépense d'un canal et l'état naturel des

eaux qu'il fournit, on réduisoit ensuite la hauteur de ce canal au moyen d'une vanne qui le barreroit sur toute sa largeur; pour déterminer la hauteur à laquelle le niveau de l'eau s'éleveroit près de la vanne, on emploieroit les principes développés dans les §§ 15, 137, et suiv.

228. *Troisieme cas.* Lorsqu'on barre le canal à sa partie inférieure sur toute sa largeur.

En barrant en entier le canal par une vanne horizontale, on forme une espece de réservoir au-dessus où l'eau se rassemble d'abord, et qu'elle franchit ensuite. L'élévation à laquelle elle parvient immédiatement au-dessus de la vanne se détermine aisément.

Si, dans un canal dont la largeur est de 20 pouces, la hauteur de 6, et la vîtesse moyenne de 20 pouces par seconde, on appuie sur le fond une vanne qui ait 12 ou 14 pouces d'élévation, et si on demande la hauteur que doit prendre l'eau au-dessus de la vanne pour que la dépense produite par sa chûte soit égale à celle du canal, je représente par x cette hauteur inconnue; et, en faisant les mêmes raisonnements que dans le premier cas (§ 220), je trouve la même expression de sa valeur, qui est $x = \sqrt[3]{\frac{9ab^2}{4v^2}}$. Dans l'exemple présent, $b = \frac{2400}{20} = 120$; $b^2 = 14400$; $\frac{a}{v^2} = \frac{5}{900}$, comme dans le premier cas. En substituant ces valeurs dans l'équation $x = \sqrt[3]{\frac{9ab^2}{4v^2}}$, on aura $x = \sqrt[3]{180} = 5$ pouces 8 lignes environ; j'en prends les $\frac{4}{9}$, je trouve 2 pouces 6 lignes environ. La vîtesse qui répond à cette chûte est de 3 pieds 6 pouces 5 lignes; j'en prends la moitié (§ 159), qui est 21 pouces $\frac{1}{4}$. Je multiplie enfin les 21 pouces $\frac{1}{4}$, qui représentent la vîtesse moyenne de l'eau en une seconde, par 5 pouces 8 lignes: ce qui me donne à peu près 120. J'aurois obtenu exactement ce nombre, si j'avois employé rigoureusement les fractions.

229. Soit NAE (*figure* 40) le fond du lit d'un canal. Supposons que le mouvement soit uniforme sur toute la longueur NE, que par conséquent toutes les hauteurs MN, AB, DE soient égales, et que cette vîtesse soit au moins égale à celle que la chûte libre de AB pourroit produire: si on construit une digue FE, et si on comble ensuite exactement l'espace EAF formé par la ligne horizontale FA, l'ancien lit et la digue, alors l'eau, en arrivant en A, et trouvant un lit qui a moins de pente, perdra de sa vîtesse. Les sections iront donc en augmentant, et la plus grande hauteur sera nécessairement au-delà du point A. Au reste, cette augmentation dans la hauteur des sections ne sera jamais bien considérable, et il sera même fort rare qu'on puisse l'apprécier.

230. Si, au lieu de supposer l'espace AEF comblé, on le supposoit vuide, il se rempliroit d'abord d'eau; et si la vîtesse de ce fluide étoit fort petite, l'écoulement au-dessus de la digue se feroit de la même maniere que si l'espace EAF étoit comblé; car l'eau ayant, par la supposition, une vîtesse peu considérable, si elle descendoit au-dessous du niveau du sommet de la digue, rien ne pourroit la faire remonter. En connoissant la vîtesse moyenne de l'eau en NM ou AB, il seroit toujours aisé de déterminer la hauteur CF que ce fluide prendroit au-dessus de la tête de la digue pour fournir la même dépense que fait le canal. Il est évident que cette hauteur diminueroit à proportion que la vîtesse moyenne en MN ou BA seroit moindre. On voit ainsi que de même qu'on peut diminuer quelquefois considérablement la largeur du canal sans produire un gonflement sensible en amont, on peut produire le même effet en diminuant la profondeur du canal.

231. Mais si l'eau avoit, dans le canal, une vîtesse égale ou supérieure à celle qui pourroit être produite par la chûte de la hauteur FE, en imaginant que la partie de la digue exposée au courant fût terminée par une courbe FO, l'eau conserveroit sa vîtesse jusqu'en O; elle s'éleveroit ensuite, en vertu de cette vîtesse, le

long de OF, et franchiroit la digue. Le remoux ne s'étendroit pas alors plus loin que le point O.

Si la vîtesse étoit moins grande; si, par exemple, elle n'étoit égale qu'à celle d'un corps tombé de la hauteur FS, en imaginant une courbe, ou seulement un plan incliné qui aboutît au point I, intersection du fond AE et de l'horizontale SI; comme l'eau, lorsqu'elle y seroit parvenue, auroit une vîtesse suffisante pour remonter jusqu'au point F, le remoux ne seroit pas sensible au-delà du point I.

A mesure que la vîtesse de l'eau seroit moindre, le commencement du remoux seroit toujours plus éloigné de la digue; mais sa plus grande distance ne se trouveroit jamais au-delà du point A, où l'horizontale FA, qui passe par la tête de la digue, rencontre le fond AE du canal.

232. Il est évident qu'à proportion que le fond NAE fera un angle plus petit avec l'horizon, la ligne FA aura plus de longueur, c'est-à-dire que le remoux pourra s'étendre plus loin en amont de la digue.

Il est évident aussi qu'en imaginant l'espace FAE comblé, si l'eau en MN, BA, a une vîtesse égale à celle qu'exigeroit la chûte libre par MN ou BA, ou si cette vîtesse est plus grande, l'eau conservera la même élévation de A en F.

Mais cela ne sera point ainsi dans le cas où l'espace compris entre la digue et le fond AE n'est pas comblé. Si l'eau a une vîtesse suffisante pour surmonter la digue, sa surface sera dans la direction de BD jusqu'au voisinage même de la digue, et ne se détournera qu'alors de sa direction. A mesure que l'eau aura moins de vîtesse dans le canal, sa surface BD tendra davantage à se confondre avec BC.

233. Si au fond rectiligne NA succédoit un fond concave APO, et si l'eau, lorsqu'elle seroit parvenue à la partie la plus basse de ce creux, avoit une vîtesse suffisante pour remonter au haut de la

digue, la surface de ce fluide auroit une courbure semblable à celle du fond.

234. On a prétendu que, lorsque l'eau s'échappoit librement au-dessus d'une digue, l'accélération qu'elle éprouvoit se communiquoit aux parties supérieures : mais il est aisé de voir que cela est absurde. En effet, il est certain que, si la vîtesse moyenne le long du canal est plus grande que celle que produiroit la chûte libre de la hauteur des sections MN, BA, l'eau conservera constamment, jusqu'à la digue, la même élévation qu'elle a en MN ; et il est évident que la vîtesse du fluide à la digue n'a aucune influence sur celle qu'il a dans le canal. Si, au contraire, la vîtesse moyenne est moindre que celle que pourroit produire la chûte libre de la hauteur CF, alors cette hauteur diminueroit. Ainsi ce n'est point la vîtesse à la digue qui détermine celle qui a lieu dans le canal, c'est celle-ci qui fixe l'autre.

SECTION XXI.

De l'altération que cause à la vîtesse de l'eau le changement de direction d'un canal.

235. Si on adapte à l'extrémité d'un canal PQ (*figure* 41) un autre canal QS de même largeur, et qui ait constamment une pente suffisante pour entretenir une vîtesse égale à celle que pourroit produire la chûte libre par la hauteur des sections ; plus la vîtesse moyenne dans le canal sera grande relativement à celle que nous venons de marquer, plus le bord QS sera exposé au choc de l'eau, et plus celle-ci perdra de sa vîtesse, et plus par conséquent la hauteur des sections augmentera en raison de l'inflexion que le canal éprouvera.

Mais si la vîtesse moyenne est égale à celle que la chûte libre de la hauteur des sections peut produire, et si la pente est toujours telle que nous venons de le supposer, le changement de direction dans le canal n'altérera que très foiblement la vîtesse, la pression

exercée en O dans le canal OS pouvant produire la même vîtesse dont l'eau est animée dans le canal PQ.

SECTION XXII.

De la dérivation, dans des canaux différents, de l'eau qui couloit d'abord dans un canal unique.

236. Si on a un canal horizontal, ou peu incliné, dans lequel l'eau ait au moins la vîtesse que pourroit produire la chûte libre de la hauteur des sections, et si le canal, sans changer de pente ni de direction, change de largeur; à mesure que cette largeur deviendra double, triple, quadruple, etc. la hauteur des sections se réduira, en faisant abstraction de l'effet du frottement, à la moitié, au tiers, au quart, etc. lorsque le cours de l'eau sera établi sur toute la largeur du nouveau canal.

Si, au lieu d'adapter au canal primitif, selon sa direction, un canal double, triple, etc. on formoit sur les côtés des ouvertures de même étendue, on n'auroit pas toujours des effets semblables à ceux du § précédent. A proportion que la vîtesse sera plus grande dans la direction du canal primitif, il faudra que les ouvertures latérales soient plus grandes que celles qui seront sur la direction du canal, pour fournir la même quantité d'eau.

Soit le canal PQ (*figure* 42) auquel on ait formé une ouverture latérale AM = SO. Si la vîtesse de l'eau, dans le canal, est, par exemple, trois fois plus grande que celle que la hauteur vive des sections pourroit produire, l'eau en AM prendra au plus la vîtesse que la chûte libre de la hauteur des sections pourra occasionner. Il passera donc par SO au moins deux fois plus d'eau que par le canal latéral, quoique les dimensions respectives soient égales.

Il est certain que le bord, sur toute la largeur AM, soutenoit, avant sa destruction, la même pression que si l'eau, dans le canal, avoit été dans l'état de repos (§ 121); mais, en formant l'ouverture, le fluide n'obéit pas librement à la pression latérale, parcequ'il est

animé à la fois de la vîtesse produite par la pression, et de celle qu'il a le long du canal.

237. Mais si, comme il est très ordinaire, la vîtesse moyenne dans un canal étoit égale à celle que la chûte libre, par la hauteur des sections, pourroit produire, ou si elle étoit moindre, il sortiroit alors par l'ouverture latérale une quantité d'eau relative à la largeur de cette ouverture. Ainsi, connoissant la largeur de l'ouverture, la vîtesse moyenne dans le canal, et si l'eau peut s'échapper aussi librement par l'ouverture que par le canal, on déterminera aisément la hauteur que l'eau aura au-dessous de l'ouverture, en supposant qu'elle conserve la même vîtesse moyenne.

238. Il est évident que, si l'ouverture AM avoit beaucoup de largeur relativement à celle du canal, l'eau ne pourroit pas avoir la même élévation sur toute la largeur AM : sa plus grande hauteur s'observeroit au voisinage de M; et cet effet seroit d'autant plus sensible, que la vîtesse moyenne, dans le canal primitif, seroit moindre.

239. On barre souvent les canaux par des digues : on occasionne alors un remoux, et on diminue, sur tout l'espace où il s'étend, la vîtesse moyenne. Si on forme, sur l'étendue où le remoux se fait appercevoir, des ouvertures latérales égales par lesquelles l'eau puisse s'échapper librement, il sortira plus d'eau par celles qui seront plus en amont, parceque le niveau de l'eau s'y soutiendra à une plus grande hauteur.

240. Si la vîtesse moyenne, dans un canal, est plus grande que celle que la hauteur vive des sections pourroit produire, ou lui est égale, de quelque quantité qu'on augmente la largeur de ce canal au-dessous d'un point quelconque A, on ne diminuera pas la hauteur de l'eau en amont; mais si la vîtesse moyenne, dans le canal, est moindre que celle que la chûte libre de la hauteur des sections peut produire, en augmentant la largeur du canal en A, et en facilitant l'écoulement de l'eau par la destruction des obstacles, on fera baisser le niveau de ce fluide en amont. Cependant la hauteur

des sections ne pourra jamais devenir moindre que celle qui peut fournir, par la chûte libre, une dépense égale à celle du canal.

L'eau aura, dans le canal, la moindre hauteur que je viens d'indiquer, si la pente est suffisante pour lui procurer une vîtesse moyenne égale à celle qui auroit lieu par la chûte libre de la hauteur des sections.

SECTION XXIII.

Moyens proposés par divers auteurs pour mesurer la vîtesse des eaux courantes.

Régulateur de Guglielmini.

241. Pour que la vîtesse de l'eau soit par-tout la même, il faut choisir dans le fleuve une section située de maniere que le lit de la riviere, au-dessus et au-dessous de cette section, soit droit autant qu'il est possible : ce qui est facile à trouver dans les grands fleuves, et n'est pas rare dans les petits.

Ayant choisi la section convenable du fleuve, pour ôter l'irrégularité de cette section naturelle il faut la contenir entre deux murs verticaux et paralleles AT, BS (*figure* 43), et applanir exactement le fond AB. Lorsque le fleuve demeure dans une même situation, on observe la hauteur BK du niveau de l'eau sur le fond. Connoissant la vîtesse de l'eau à la surface, on cherche la hauteur qui auroit pu produire cette vîtesse ; on ajoute cette hauteur KS à la hauteur BK ; sur la hauteur BS on décrit, avec un parametre = 60 pieds, une parabole ; on détermine la vîtesse moyenne MN entre KI et BH, et on multiplie enfin cette vîtesse par la section ABKL pour avoir la dépense du fleuve.

S'il étoit difficile de mesurer la vîtesse de l'eau à la surface du fleuve, on emploieroit une vanne KLOG qu'on feroit plonger jusqu'à ce qu'elle fût au-dessous du niveau de l'eau ; ce fluide s'éleveroit alors en amont de la vanne ; on marqueroit la hauteur BS à laquelle son niveau parviendroit ; on décriroit sur la ligne qui exprime

la hauteur de l'eau, comme axe, une parabole. La vîtesse au point le plus élevé de la section artificielle, que Guglielmini nomme *régulateur,* seroit représentée par KI, et, au point le plus bas, par BH; on chercheroit (§ 184) la vîtesse moyenne entre celles-là; on la multiplieroit par la surface de la section ABKL, et le produit représenteroit la dépense du fleuve.

242. Cette méthode de déterminer la vîtesse des fleuves, etc. peut conduire à des erreurs monstrueuses. Nous avons fait voir (§ 187) que, dans un canal régulier, et dans lequel la surface de l'eau étoit sensiblement horizontale, ce qui est ordinaire dans les grands fleuves, sur-tout lorsqu'ils approchent de leur embouchure, la vîtesse étoit la même, abstraction faite des frottements, sur toute la hauteur des sections. Ainsi, lorsqu'il s'agit de déterminer la quantité d'eau que fournit un fleuve régulier dont le cours est bien établi, et dont la surface est unie en amont et en aval du point que l'on choisit, il faut bien se garder de supposer que la vîtesse augmente de la surface au fond. Pour avoir la limite de la plus grande dépense qu'il peut faire, il faut multiplier la surface de la section par la vîtesse de l'eau à la surface.

243. En interrompant même le cours d'une riviere par des vannes, et en rendant libre la chûte de la section qui répondroit à ces vannes, ce ne seroit pas la méthode de Guglielmini qu'il faudroit employer pour connoître la vîtesse moyenne. Nous avons fait voir (§ 159) que ses résultats étoient doubles de ce qu'ils devoient être.

244. Nous avons observé enfin (§ 194) que l'eau, en entrant et en coulant dans des canaux horizontaux, pouvoit avoir une vîtesse plus grande que celle que pourroit produire la chûte libre de la hauteur des sections. On voit que, dans ces cas, qui peuvent être très multipliés, la méthode de Guglielmini ne seroit point applicable, quand même elle seroit exacte.

Tube recourbé de M. Pitot.

245. (*Figure* 44.) Cet instrument, dont on trouve la description et les usages dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, année 1732, est composé d'un tube de verre cylindrique coudé, qu'on fixe bien solidement à une piece de bois, et à côté duquel on place une regle de fer ou de cuivre divisée en pieds, pouces, lignes.

La vîtesse de l'eau, dans quelque point que ce soit de la section d'un fleuve, peut être regardée comme produite par la chûte libre d'une certaine hauteur, et par conséquent l'eau avec cette vîtesse pourroit s'élever à la même hauteur d'où on suppose qu'elle a pu tomber. D'après ce principe, on établit l'instrument verticalement de maniere que l'ouverture A soit exposée au courant; et de la hauteur M, à laquelle l'eau s'éleve, on conclut la vîtesse de ce fluide à l'endroit où l'orifice A est placé.

On a observé, avec raison, que cet instrument, quoique simple, étoit d'un usage peu commode et peu sûr, à cause de la difficulté de l'établir solidement, et à cause des frottements que l'eau éprouvoit en s'y élevant.

Quart de cercle.

246. (*Figure* 45.) On emploie aussi le quart de cercle pour mesurer la vîtesse des eaux courantes. Pour cela, on attache à son centre deux fils, dont l'un doit rester dans une situation verticale au moyen d'un poids P; on donne à l'autre plus de longueur, et on met aussi à son extrémité un poids d'une pesanteur spécifique plus grande que l'eau. Lorsqu'on veut se servir de cet instrument, on le place solidement, de maniere que son plan soit bien vertical et dans la direction du courant. On laisse tomber dans l'eau le fil CH; le courant le forcera de s'écarter de la direction verticale. En représentant le poids constant F du corps attaché à l'extrémité du fil, et qui doit être enfoncé dans l'eau, par la verticale KH, et formant le parallélogramme KLHI de maniere que les côtés KL, KI soient respectivement

respectivement paralleles à la surface XR de l'eau et à la direction CH du fil. Des deux forces en lesquelles KH est décomposée, l'une HL est détruite, et l'autre KL exprime la force du courant. On sait, par les principes de la méchanique, que la force $KL = F \times \frac{\sin. KHL}{\sin. KLH}$.

Il est évident que, pour une autre situation du fil telle que CM, on aura la force du courant $OQ = F \times \frac{\sin. OMQ}{\sin. MQO}$, d'où on tirera $KL : OQ :: \frac{\sin KHL}{\sin. KLH} : \frac{\sin. OMQ}{\sin. MQO}$; et si on suppose que la surface du courant, sur l'espace où on applique l'instrument, soit parallele à l'horizon, alors HK sera perpendiculaire à KL et MO à OQ. Mais HK = MO étant le sinus total, KL et OQ sont les tangentes des angles KHL, OMQ, qui sont égaux aux angles formés par les fils CH, CM, avec la verticale CP. Ainsi les forces du courant sont entre elles, comme les tangentes des angles formés par les fils et la verticale.

Le rapport des forces de deux courants différents étant connu, supposant que les impulsions du fluide sur le même corps soient entre elles comme les quarrés des vîtesses, et connoissant par expérience la vîtesse dans un cas où on a appliqué le quart de cercle, on trouve par une proportion la vîtesse dont sera animée l'eau dans l'autre cas.

L'usage du quart de cercle a été imaginé pour mesurer la vîtesse de l'eau à différentes profondeurs. Mais si, dans les canaux et dans les fleuves réguliers, la vîtesse est la même sur toute la hauteur des sections, il est inutile alors d'employer cet instrument; et dans le cas où il y auroit une chûte, et où certainement la vîtesse de l'eau augmente avec la distance au niveau, les chocs de ce fluide ne permettent jamais au fil CH de rester dans une situation invariable; d'ailleurs il est presque impossible d'établir d'une maniere fixe le quart de cercle sur les rivieres un peu considérables : on ne peut donc mesurer alors avec quelque exactitude l'angle formé par le fil

CH et la verticale CP. Enfin si le corps H, qui est à l'extrémité du fil, n'a que la pesanteur spécifique de l'eau, il éprouvera des oscillations continuelles; et s'il a une trop grande pesanteur spécifique, il ne sera pas assez sensible lorsqu'il n'y aura que de petites variations dans la vîtesse. Il suit de tout cela que le quart de cercle ne doit jamais être employé pour la mesure de la vîtesse des eaux.

Corps flottants.

247. Les corps flottants sur l'eau, et sur-tout lorsque leur pesanteur spécifique leur permet de plonger presque en entier dans ce fluide, prennent en très peu de temps sa vîtesse: aussi on ne peut pas employer de moyen plus simple et plus sûr pour connoître la vîtesse d'un courant.

En sachant que si le lit d'une riviere ou d'un canal est régulier, la vîtesse, abstraction faite des frottements, est la même sur toute la hauteur des sections (1), la vîtesse à la surface représentera la vîtesse moyenne; et, en la multipliant par la grandeur des sections, le produit déterminera la dépense de cette riviere ou de ce canal, en n'ayant aucun égard à la résistance du fond et des bords.

Il est évident que, si la riviere ou le canal n'avoient pas un lit régulier, on y observeroit une multitude de courants très différents. Si le fond étoit formé de pierres inégales, ou s'il étoit revêtu, de

(1) M. de Buat a conclu d'un très grand nombre d'expériences faites dans des canaux réguliers, 1°. que la grandeur du lit ni celle de la pente n'influent en rien sur le rapport des vîtesses de l'eau à la surface et au fond. Tant que les vîtesses moyennes restent les mêmes, ou que celle à la surface est constante, on trouve constante celle du fond, sans que la profondeur de l'eau ou la grandeur de la section y apportent du changement. 2°. Que la vîtesse moyenne, dans un canal régulier, est moyenne arithmétique entre la vîtesse à la surface et celle du fond. La vîtesse à la surface étant connue, on trouvera celle du fond en suivant la regle suivante. Extrayez la racine quarrée de la vîtesse à la surface par seconde, exprimée en pouces, et retranchez-en l'unité; le reste, élevé au quarré, sera la valeur de la vîtesse au

même que les bords, de plantes, la vîtesse diminueroit au voisinage des obstacles qu'elle rencontreroit. Il est évident aussi que, si le lit étoit subitement rétréci, l'eau éprouveroit, à cet endroit, une chûte, et que la vîtesse seroit alors plus grande à la partie inférieure des sections. Mais, dans tous ces cas, on ne pourroit avoir la vîtesse moyenne de la riviere ou du canal qu'en connoissant toutes les vîtesses particulieres des divers courants: or on sent l'impossibilité de parvenir à connoître, dans ces circonstances, la vîtesse moyenne. Pour y réussir, il n'y a que deux moyens. Le premier consiste à rendre régulier, dans une certaine étendue, le lit de la riviere ou du canal: la vîtesse y deviendra assez uniforme. Comme il est constant que le fond, quoiqu'uni, retarde le mouvement de l'eau, au lieu d'un seul corps flottant on emploiera deux boules de cire de même volume, qu'on liera avec un fil qui ait à peu près une longueur égale à la hauteur des sections; on mettra, au centre de la boule qui est destinée à se mouvoir près du fond, de petites pierres; on évitera cependant de la rendre assez pesante pour qu'elle traîne sur le fond: alors la vîtesse des deux boules représentera la vîtesse moyenne avec autant d'exactitude qu'on pourra desirer (1), pourvu que les boules ne soient pas placées trop près des bords.

Le second moyen, qu'on peut très bien employer dans les canaux et dans les petites rivieres, consiste à relever beaucoup le lit

---

fond du lit. Ainsi la vîtesse de la surface étant supposée de 25 pouces par seconde, prenez-en la racine quarrée = 5; retranchez-en l'unité, et élevez le reste 4 au quarré, vous aurez 16 pouces pour l'expression de la vîtesse de l'eau au fond. *Principes d'hydraulique, part. I, pag.* 91.

(1) En répandant dans des canaux réguliers des matieres colorantes, je remarquois qu'elles prenoient des vîtesses sensiblement différentes: ce qui indiquoit que l'eau n'avoit réellement pas, dans ces canaux, un mouvement uniforme. J'observois encore que les matieres étoient mues plus lentement près des bords et du fond, et qu'il existoit toujours un endroit où le courant étoit plus rapide. Tout cela prouve qu'on ne peut avoir la vîtesse moyenne, même dans des canaux réguliers, que par approximation.

de ces rivieres ou de ces canaux avec des vannes, de maniere que l'eau puisse s'élever en amont, et éprouver une chûte libre à l'endroit où les vannes seront placées. On donnera à l'orifice une forme rectangulaire. Connoissant la hauteur à laquelle l'eau s'élevera au-dessus du fond de l'orifice, on en prendra les $\frac{4}{9}$; on cherchera la vîtesse qui répond à cette chûte; on prendra la moitié de cette vîtesse (§ § 159, 208); et son produit par la surface de la section artificielle formée par les vannes représentera la dépense du canal ou de la riviere.

CHAPITRE TROISIEME.

Des fleuves.

SECTION PREMIERE.

De l'origine des fleuves.

248. Les plus grands fleuves ont des commencements foibles. Les premiers ruisseaux qui les forment coulent d'abord *sans gloire et sans nom*; en s'éloignant des montagnes où ils ont pris naissance, leur cours devient plus imposant: mais l'observateur qui les suit compte facilement les degrés de puissance qu'ils acquierent; et lorsqu'il arrive à leur embouchure, loin d'être frappé de l'étendue qu'ils occupent, il ne trouve point, en les jaugeant, toutes les eaux dont ils devroient être grossis.

La mer, qui reçoit tous les fleuves, fournit principalement à leur entretien. On sait que ses eaux, paroissant se soustraire aux loix de la pesanteur, s'éloignent d'elle, vaguent dans les airs, et vont même dominer les points les plus élevés de la terre (1). Mais

(1) La montagne de Chimboraço est élevée de 3217 toises au-dessus du niveau de la mer. C'est la plus haute des montagnes connues du globe. La

leur élévation a un terme : la force inconnue à laquelle elles avoient été soumises les abandonne, elles obéissent de nouveau à la gravité, et elles prennent alors, selon les saisons et selon les lieux, des formes différentes.

Sur les hautes montagnes il ne pleut que de la neige pendant une partie de l'année. L'eau s'attache aux rochers, s'y réunit en masses énormes, s'y durcit, et forme des réservoirs suspendus que la chaleur du soleil n'épuise jamais, et qui assurent ainsi la perpétuité des fleuves qui y ont leur origine.

Les eaux qui, en tombant, conservent leur fluidité, pénetrent plus ou moins profondément la terre ; elles se réunissent en partie dans les cavités multipliées qui existent dans son sein, et elles y forment, à l'abri de l'évaporation, d'autres sources perpétuelles.

249. Les manieres différentes dont la nature peut suppléer à la dépense continuelle des fleuves, occasionnent des variétés extrêmes dans leurs mouvements.

Si les eaux pluviales ne faisoient que glisser sur la surface de notre globe et se réunissoient tout de suite dans le lit des rivieres, leur écoulement s'acheveroit dans un espace de temps très court, et la saison où elles tomberoient seroit l'époque des plus grands ravages que la terre pût éprouver. Il existe heureusement des réservoirs cachés où une grande partie des eaux de pluie se rassemble ; et c'est de là qu'elles sont ensuite dispensées avec mesure. On imagine pourtant aisément que les sources ne peuvent guere être entretenues dans un état fixe : elles sont presque toutes successive-

---

neige commence à 2440 toises, et la couvre jusqu'à son sommet; et comme les nuages les plus légers s'élevent 1000 ou 1200 toises au-dessus, il s'ensuit que, s'il y avoit des montagnes assez hautes, on les verroit couvertes de neige depuis 2440 toises jusqu'à 4400 toises d'élévation : ensuite leur sommet seroit nu, non par la cessation du froid qui augmente toujours en s'élevant dans l'atmosphere, mais parceque les vapeurs de la terre ne s'y éleveroient pas pour se former et retomber en neige. *M. Bouguer, Figure de la terre, page 4.*

ment abondantes et foibles; et elles suivent, quelle que soit la forme des réservoirs, les variations des causes à qui elles doivent leur existence.

On regarde comme permanents les fleuves lorsque les fontaines naturelles fournissent seules à leur entretien. Cette dénomination est exacte, attendu qu'alors les changements qui y arrivent sont très peu sensibles dans des intervalles de temps qui ne sont pas considérables.

250. Les crues subites que les fleuves éprouvent peuvent être produites par plusieurs causes. Elles le sont d'abord par l'écoulement passager des eaux de pluie, qui, tombées en trop grande abondance et réunies bientôt en masse, n'ont pas eu le temps de se filtrer à travers la terre.

On sait que le sol caché sous des tas énormes de neige et de glace jouit toujours d'une chaleur suffisante pour faire végéter certaines especes de plantes, et pour permettre à l'eau de couler (1). Il y a, sur les plus hautes montagnes, des fontaines dont l'écoulement n'est pas interrompu, même pendant les froids les plus rigoureux. Mais la chaleur qui reste à la terre sur ces lieux élevés a peu d'énergie pendant l'hiver; elle ne se fait pas sentir bien loin: aussi les glaciers diminuent peu dans cette saison; l'eau y est comme en réserve jusqu'à ce que l'air, prenant une température plus douce, lui rende la fluidité et le mouvement. La nature, qui, dans une infinité de circonstances, paroît agir d'une maniere uniforme, et dont la marche nous échappe si souvent, parceque ses mouvements se font par des degrés trop peu sensibles, fait tout ici par sauts; elle accumule presque sans interruption des masses étonnantes de neige; elle les fond ensuite de même; les eaux descendent alors en abondance et avec impétuosité des montagnes, et elles

(1) C'est la chaleur souterraine qui entretient les torrents qui, même pendant les plus grands froids, ne discontinuent jamais de sortir de tous les grands glaciers. *M. de Saussure, tom. I, page* 452.

produisent, dans les rivieres, les mêmes effets que les pluies extraordinaires.

251. La constitution physique et météorologique d'un pays a la plus grande influence sur les variations que peuvent éprouver les eaux des torrents et des petites rivieres. Dans les contrées où le ciel est presque toujours nébuleux, et où les eaux qui tombent du ciel ressemblent plus à de fortes rosées qu'à de véritables pluies, il n'y aura point de torrent; la plus grande partie des eaux se filtrera à travers la terre, et ce qui s'en écoulera sur la surface fuira lentement sans ravager jamais les campagnes.

Mais, dans les contrées où le ciel est presque toujours pur, où les pluies viennent dans des temps réglés, et où il tombe sur la terre, dans quelques heures, ce qui fourniroit à des pluies de plusieurs mois dans les pays dont j'ai d'abord parlé; alors les eaux formeront nécessairement des torrents, et les ravages qu'elles pourront produire seront d'autant plus grands, que les pluies seront plus abondantes, qu'elles seront plus subites, que le terrain sera plus montueux, plus stérile, et moins chargé d'arbres et de plantes.

SECTION II.

Des sources.

252. L'HOMME ordinaire, qui voit jaillir du pied d'une montagne une source abondante, s'imagine qu'elle coule, dans l'intérieur de la terre, dans un canal de même grandeur que celui qu'elle remplit lorsqu'elle en sort. Le philosophe ne juge pas d'une maniere aussi grossiere. Une source lui rappelle le spectacle qu'offrent les plus grands fleuves: de même qu'il n'oublie pas, lorsqu'il est à leur embouchure, la multitude des rivieres qui les ont fournis, ainsi une source est à ses yeux l'embouchure d'une infinité d'autres sources plus petites.

Il est impossible de suivre dans leur cours souterrain les différents filets d'eau qui concourent à la formation des fontaines natu-



relles; elles ont communément tout leur volume et toute leur beauté lorsqu'on les voit naître; elles jaillissent souvent du pied d'un rocher; elles ne sont guere annoncées que par le bruit qu'elles occasionnent, ou par la verdure dont elles embellissent le terrain qu'elles arrosent. Il n'est cependant pas rare que la nature offre des lieux où les eaux, en sortant de la terre, présentent, avant de se rassembler, une variété extrême dans la direction et la quantité de leurs mouvements. J'ai vu des grottes dans lesquelles s'opéroit l'union de plusieurs sources différentes. J'en voyois couler à mes pieds; d'autres tomboient avec fracas de la voûte: il y avoit enfin une assez grande quantité d'eau qui, suivant des colonnes verticales qu'elles avoient insensiblement formées, couloit avec lenteur, quoique sans interruption, en imitant l'effet des pluies.

253. La vîtesse de l'eau, à l'origine des sources, varie singulièrement, non seulement dans des sources différentes, mais encore dans la même, selon les temps où on l'observe. Il s'en trouve où l'on voit évidemment que la vîtesse est produite par la pression (1); mais le plus souvent cette cause est jointe à l'inclinaison des canaux que les eaux suivent.

Le mouvement des eaux, dans l'intérieur de la terre, croît sans doute avec la pente des canaux, et par la pression qu'elles exercent après leur réunion dans des réservoirs. Mais ce mouvement doit être singulièrement modifié à cause des variétés extrêmes que peuvent présenter la disposition de ces canaux, leurs sinuosités, leurs grandeurs, les irrégularités de leur surface, la forme des réservoirs, les ouvertures dont ils sont percés, la résistance de l'air, etc. Si, dans les conduites les plus régulieres que les hommes puissent

(1) Dans la ville de Modene, et à quatre milles aux environs, en quelque endroit que l'on fouille, lorsqu'on est parvenu à la profondeur de 63 pieds, et qu'on a percé la terre à 5 pieds de profondeur de plus avec une tariere, l'eau jaillit avec une si grande force, qu'elle remplit les puits en peu de temps, et qu'elle coule même continuellement par-dessus les bords. *M. de Buffon, Théorie de la terre.*

exécuter,

exécuter, les loix de l'hydraulique éprouvent des altérations considérables, il est certain que ces loix seront infiniment plus troublées dans les canaux formés par la nature, où les obstacles seront infiniment plus multipliés. Au reste, il est fort indifférent pour notre objet que, dans l'intérieur de la terre, les différents filets d'eau aient des vîtesses différentes tant qu'ils coulent encore séparément. Lorsqu'ils se réuniront et qu'ils viendront se présenter au jour par une ouverture commune, toutes les inégalités dont ils avoient été affectés disparoîtront; les eaux les plus lentes partageront le mouvement de celles qui étoient plus rapides, sans qu'il reste aucun moyen de reconnoître les variations qu'elles avoient éprouvées jusqu'alors.

254. A proportion que les sources rassemblent les eaux pluviales de contrées plus étendues, et que les ouvertures par lesquelles elles s'échappent sont moins grandes, elles sont moins sujettes à tarir, et leur dépense éprouve des variations plus foibles après les pluies. On conçoit aisément qu'il faut aux eaux un temps considérable pour se filtrer à travers la terre, et pour se rendre dans les réservoirs où elles doivent se réunir.

Les sources qui s'avivent immédiatement après les pluies ne sont point permanentes. Leurs eaux sont d'abord troubles, parcequ'en traversant la terre trop rapidement, elles n'ont pas eu le temps de se purifier. Elles tarissent d'autant plutôt, que leur dépense est plus considérable.

Les sources étant entretenues par les pluies, et celles-ci manquant quelquefois pendant long-temps, il suit que la dépense des premieres doit être assujettie à de grandes inégalités, et qu'elles peuvent même tarir entièrement: ainsi, lorsqu'elles s'échappent par des ouvertures déterminées, quoiqu'elles les remplissent exactement, et qu'elles sortent, pour ainsi dire, à gueule bée, elles auront nécessairement des vîtesses très différentes, selon le temps où on les observera. Les dépenses ne dépendront pas de la grandeur des sections; et lorsque celles-ci diminueront, les vîtesses

diminueront presque toujours dans un rapport beaucoup plus grand. Dans ce cas, les sources peuvent être comparées aux eaux qui s'échappent par des orifices déterminés percés près du fond des réservoirs. Les sections à l'orifice restent les mêmes, tandis que les vîsesses peuvent varier singulièrement, selon la hauteur de l'eau dans les réservoirs.

La situation des lieux où naissent les sources contribue beaucoup à les rendre plus ou moins apparentes; mais, de quelque maniere que leurs eaux se rassemblent, il est toujours possible, et même facile, d'en connoître le volume et la dépense. Si, comme il arrive souvent, les eaux jaillissent de quelque endroit qui leur permette d'avoir tout de suite un écoulement libre, on les recevra dans un canal régulier, et l'on cherchera (§ 247) leur vîtesse moyenne.

Si, au contraire, les sources prenoient naissance dans quelque bas-fond, il se formeroit un lac plus ou moins étendu, dans lequel l'eau s'éleveroit jusqu'à ce qu'elle eût une issue libre. Les dimensions de ce lac ne détermineroient en aucune maniere l'abondance des sources; on ne la connoîtroit que par la dépense qu'elles pourroient faire lorsqu'on donneroit aux eaux un écoulement régulier.

SECTION III.

De la formation des torrents par les eaux de pluie.

255. Après avoir indiqué les augmentations que les rivieres acquierent par les crues des sources, arrêtons-nous sur celles qui sont produites par les eaux pluviales lorsqu'elles ne font, pour ainsi dire, que glisser sur la surface de la terre.

Ici la situation des lieux, la nature du sol, l'abondance des pluies, peuvent donner lieu à une variété extrême dans les effets. Pour fixer les idées, prenons un exemple.

Représentons-nous une étendue de pays d'une lieue quarrée; imaginons qu'elle est distribuée sur deux plans égaux séparés par

le lit d'un torrent qui puisse être regardé comme leur commune section, et vers laquelle ils soient tous les deux inclinés. Supposons que, dans douze heures, il soit tombé uniformément une pluie qui, si elle eût été recueillie sur chaque point, y eût formé une colonne d'eau de 4 pouces d'élévation.

En faisant la lieue de 2000 toises seulement, la lieue quarrée contiendra 4,000,000 toises. Chaque toise quarrée contenant 36 pieds quarrés, et chaque pied quarré 144 pouces, chaque toise quarrée contiendra 5184 pouces quarrés, qui, multipliés par 4,000,000, donneront 20,736,000,000, nombre qui exprime la quantité de pouces quarrés compris dans une lieue quarrée.

Comme nous avons supposé qu'il étoit tombé 4 pouces d'eau sur chaque point de la surface de la terre, la quantité de pouces cubiques qu'il en sera tombé sera représentée par 82,944,000,000.

En supposant que toutes ces eaux s'écoulassent uniformément en 24 heures, il faudroit qu'il s'écoulât 3,456,000,000 pouces cubiques d'eau dans une heure, 57,600,000 dans une minute, et 960,000 dans une seconde.

En recevant les eaux dans un canal de 2 toises de largeur sur 3 pieds de hauteur, la surface de chaque section sera d'une toise quarrée, et contiendra par conséquent 5184 pouces. En regardant 960,000 comme un prisme qui a 5184 pouces de base, on trouve que sa hauteur est de 185 pouces. Comme ce prisme s'échappe dans une seconde, et comme le pied contient 12 pouces, il suit que l'eau aura une vîtesse de 15 pieds $\frac{1}{2}$ dans une seconde. La quantité de pluie qui sera tombée suffira donc pour entretenir un canal de 2 toises de largeur, de 3 pieds de hauteur, avec une vîtesse de 15 pieds $\frac{1}{2}$ par seconde.

Jusqu'à présent nous avons tout disposé à notre gré. Examinons ce qui peut subsister de nos suppositions dans l'état des choses.

Nous avons supposé d'abord qu'il étoit tombé 4 pouces d'eau dans douze heures de temps. Cela pourra paroître trop considé-

rable pour certains pays; mais il est certain que cette supposition sera beaucoup trop foible pour d'autres. A Marseille (1), par exemple, il n'est pas rare qu'il tombe 4 pouces d'eau dans trois ou quatre heures de temps; il y a eu même des années où il est tombé dans la même ville jusqu'à 10 pouces d'eau dans quatre heures. Il est certain que, dans la même province, au voisinage des hautes montagnes, les pluies sont beaucoup plus abondantes que dans le reste du pays. Nous ne supposons donc rien de trop en avançant qu'il y tombe quelquefois des pluies aussi considérables que celles qui ont été mesurées exactement à Marseille.

Nous avons supposé ensuite que les eaux s'écouloient en vingt-quatre heures. Nous sommes obligés d'avouer qu'il n'est pas ordinaire que les eaux qui tombent du ciel s'écoulent entièrement peu de temps après leur chûte.

Les contrées situées en plaine, et où les terres sont généralement cultivées, absorbent proportionnellement beaucoup plus d'eau que celles qui, organisées d'ailleurs de la même maniere, auront plus de pente, et où le terrain sera inculte et nu. Cela est si vrai, qu'après les pluies les plus fortes les terres incultes et nues sont à peine humides à quelques pouces de profondeur, tandis que, dans le même temps, celles qui sont bien divisées par la culture sont pénétrées par l'eau à plusieurs pieds de profondeur.

256. Rien ne peut ralentir davantage le mouvement des eaux que le défaut de pente. Dans tous les pays, les plaines sont sujettes aux inondations, et les eaux ne s'en éloignent qu'avec beaucoup de lenteur; cela est d'autant plus ordinaire, que les plaines sont plus étendues, et que les pluies sont plus subites et plus abondantes.

(1) Le 29 juillet 1783 il est tombé à l'observatoire de Marseille, depuis dix heures jusqu'à midi, 5 pouces et une ligne d'eau. Le 17 septembre 1772 on recueillit, au même observatoire, 10 pouces d'eau en douze heures: mais il en tomba 7 ou 8 pouces en moins de deux heures; tout le territoire fut inondé.

Dans la Chine, les orages, qui dépendent de ce météore, sont fort multipliés, et d'autant plus funestes, que cet empire offre des pays plats prodigieusement étendus, où les eaux peuvent s'accumuler, et d'où, malgré les canaux qui les coupent, elles ne peuvent s'échapper que lentement. Suivant une lettre du P. Cibot, missionnaire à la Chine, il tomba plus de cinq pieds d'eau pendant l'été de 1761. Il y eut des provinces entieres inondées, des milliers d'hommes noyés, des villes englouties, etc.

Il faut toujours à l'eau un certain temps pour pénétrer la terre, sur-tout lorsqu'elle peut s'échapper ailleurs librement. Tous les obstacles qui pourroient diminuer sa vîtesse contribueront donc à favoriser sa filtration. Les bois sont donc très propres à arrêter les eaux et à favoriser leur introduction dans la terre; ils produiront d'autant mieux cet effet, qu'ils seront plus touffus.

Il est certain d'ailleurs que les feuilles des arbres pompent et absorbent une grande quantité d'eau, et que, quoique le sol où ils naissent soit inculte, il est beaucoup plus susceptible d'être pénétré par les pluies que les terrains incultes et nus.

Les bois contribuent d'une maniere si efficace à arrêter et à conserver les eaux, que des sources qui, dans certaines contrées, couloient toute l'année, ont disparu entièrement après que les bois ont été incendiés, et ne se sont rétablies ensuite que lorsque la terre a eu repris la parure à laquelle leur existence et leur perpétuité étoient liées.

Mais s'il y a des contrées qui, par leur position, suspendent le cours des eaux qui tombent du ciel, il en est beaucoup d'autres qui favorisent leur écoulement. Dans les pays habités depuis longtemps, les grandes chaînes de montagnes sont presque entièrement formées de rochers nus et penchants. Quoique les rochers soient souvent séparés par des fentes, il est certain que la plus grande partie des eaux de pluie se rassemble tout de suite alors dans le lit des torrents, et qu'il n'y en a qu'une petite quantité qui puisse pénétrer dans le sein de la terre.

Si l'exemple que nous avons choisi est appliqué à un pays montagneux et nu, au lieu de supposer que les 4 pouces d'eau s'écoulent en vingt-quatre heures et tombent en douze heures, on pourra imaginer qu'il tombe 8 pouces d'eau en six heures, et qu'ils s'écoulent en huit heures. On aura alors un volume d'eau douze fois plus grand, c'est-à-dire qu'il pourroit fournir un canal de 24 toises de largeur sur 3 pieds de profondeur avec une vîtesse de 15 pieds $\frac{1}{2}$ par seconde.

257. Si on n'avoit pas la facilité de faire des observations directes sur la réunion des eaux de pluie, en jettant les yeux sur des cartes on concevra facilement que des eaux tombées sur un espace quatre fois plus grand que celui que nous avons déterminé pourront se réunir. La dépense du torrent deviendroit ainsi quatre fois plus grande. En laissant subsister les suppositions précédentes, nous aurions donc de quoi entretenir un canal de 48 toises de largeur sur 1 toise de profondeur, ou un autre de 24 toises de largeur sur 2 toises de profondeur avec une vîtesse commune de 15 pieds $\frac{1}{2}$ par seconde.

Quelque extraordinaires que puissent paroître ces résultats, ils sont plutôt au-dessous de la vérité qu'ils ne sont outrés. Lorsqu'on a vécu dans les montagnes, et qu'on a vu les torrents affreux qui y coulent; le volume des eaux, leur rapidité, et les ravages qu'elles occasionnent, laissent l'impression la plus profonde, de maniere que l'imagination altere et grossit toujours les effets que le calcul annonce.

Voici des exemples de crues subites et considérables de torrents.

« Nous étions sur les rives du Nil (en Abyssinie), nous entre-
« tenant à l'ombre des saules, lorsque nous entendîmes subite-
« ment gronder un tonnerre dont le coup sembloit partir de fort
« loin. Nous nous disions mutuellement qu'il tonnoit en ce pays-là
« en temps serein, comme il arrive souvent aux Indes, et nous
« commençâmes à empaqueter nos hardes, sans soupçonner au-

« cun péril. Nous avions déja plié la tente sous laquelle nous « avions dîné, lorsque maître Jean se mit à crier de toutes ses for« ces : Sauve, sauve qui peut ! A peine eûmes-nous le temps de « nous retourner, que nous vîmes une montagne d'eau qui, se lan« çant en bas de la hauteur d'une pique, et venant à nous avec un « bruit terrible, eut bientôt emporté tout notre bagage, et n'eût « pas épargné la tente si elle eût été encore debout. Nous nous dé« robâmes à sa fureur en grimpant sur les saules. Ce torrent d'eau « se précipitoit de dessus les montagnes d'où nous avions oui gron« der le tonnerre, et entraînoit de grosses pierres qui, résistant à « l'impétuosité des flots, faisoient un tintamarre si épouvantable « que la terre en trembloit ; mais comme cet orage s'étoit élevé « tout-à-coup, il passa aussi de même. Le lendemain nous vîmes « de l'autre côté du fleuve les grosses pierres que la violence du « torrent avoit arrachées de la montagne ». *Description de l'Afrique, page* 44.

« Le 16 juillet 1750, un ruisseau qui traverse la petite ville de « Sirkes située en Lorraine sur les bords de la Moselle, et qui, dans « les temps ordinaires, n'a pas à son embouchure plus de 2 ou 3 « pieds d'eau, s'enfla tout-à-coup si prodigieusement, que l'eau « s'éleva à la hauteur de 22 pieds sur la largeur d'environ 40 toises. « Elle renversa le mur d'enceinte qui étoit très épais, et toutes les « maisons qui étoient sur son passage ; et ne trouvant pour s'écou« ler qu'une arcade de 18 pieds percée dans l'autre partie du mur « de la ville, elle s'éleva si considérablement, qu'elle renversa ce « mur et une tour qui étoit de ce côté-là, et sortit par cette breche « avec assez d'impétuosité pour suspendre pendant quelques mo« ments le cours de la Moselle, et porter de l'autre côté de cette « riviere les décombres des bâtiments qu'elle venoit de renverser. » *Histoire de l'Académie des Sciences, année* 1750, *page* 34.

258. Nous avons supposé que l'eau fournie par les pluies s'échappoit uniformément par le lit des torrents ; mais il s'en faut de beaucoup que cela puisse être vrai. Les toits de nos édifices peuvent

servir à nous donner une idée de ce qui se passe sur les montagnes. On sait que le sol y est extrêmement inégal; mais quoique les pentes ne soient pas disposées d'une maniere aussi réguliere que nos tuiles, les effets seront à peu près les mêmes.

Soient A et B (*figure* 46) les combles de deux maisons, C une conduite commune qui reçoive les eaux des gouttieres particulieres. Si la pluie est assez abondante pour que l'eau puisse par-tout couler librement, la dépense de chaque gouttiere, lorsque l'eau de la partie la plus élevée arrivera à l'extrémité inférieure, sera égale à toute l'eau qui tombera à chaque instant dans toute l'étendue de la gouttiere; car la section la plus éloignée, en traversant chaque section, sera grossie des eaux qui y tombent à chaque instant, de maniere que lorsqu'elle sera à l'extrémité de la gouttiere, elle sera formée de toutes les eaux qui tombent à chaque instant dans toute son étendue. Ainsi dans les gouttieres, quelle que soit leur inclinaison, la grandeur des sections ira toujours en croissant à mesure qu'on les observera plus loin de l'extrémité supérieure de la gouttiere. La pente restant la même, plus les gouttieres auront de longueur, et plus la grandeur des sections à l'extrémité sera considérable.

Pourtant, à mesure que la pente augmentera, la grandeur des sections sera, dans des points semblablement situés, proportionnellement moins grande pour deux raisons: 1°. parceque, la pluie tombant perpendiculairement, la quantité d'eau reçue sur un plan incliné ne sera pas plus considérable que si ce plan étoit diminué dans le rapport du cosinus d'inclinaison au sinus total; 2°. l'inclinaison du plan occasionnant une plus grande accélération, les sections y seront plus petites que dans des points correspondants de plans qui peuvent recevoir la même quantité d'eau, mais qui ont moins de pente. Cette accélération n'est pas cependant aussi considérable que si les sections éloignées se mouvoient seules, et si elles n'étoient pas retardées par le mélange des eaux qui se joignent à elles à chaque instant, et qui ont d'abord une direction perpendiculaire au cours des premieres.

Il

Il est évident que la conduite C, qui recevroit l'eau de toutes les gouttieres, peut être considérée elle-même comme une gouttiere isolée sur laquelle il tomberoit une pluie uniforme et assez abondante pour fournir à chaque instant autant d'eau sur chaque point de son étendue qu'il en entre par les gouttieres qui y aboutissent. Ce que nous avons dit sur les gouttieres est donc entièrement applicable à la conduite C.

Les lits des torrents sont ce qu'est ici la conduite C, les eaux pluviales viennent s'y rendre de tous côtés; et quoique les rigoles ne soient pas disposées sur les montagnes et sur les deux bords des torrents d'une maniere aussi réguliere que les gouttieres des toits de nos maisons, il n'en est pas moins vrai que les effets généraux seront exactement les mêmes; c'est-à-dire que, 1°. la dépense, à tel point qu'on voudra choisir d'un torrent dans lequel les eaux pluviales viennent se rendre, sera à chaque instant égale à toutes les eaux qui entrent à la fois dans toute la longueur de la partie supérieure de ce torrent. On suppose que les eaux tombées à l'origine de ce torrent sont arrivées déja au point en question, et que la pluie se soutient avec la même force.

2°. La largeur et la profondeur des lits des torrents doivent aller en augmentant à proportion qu'ils sont destinés à recueillir une plus grande quantité d'eaux pluviales.

3°. On ne doit pas considérer les torrents comme des canaux qui reçoivent par une de leurs extrémités (1) toutes les eaux qu'ils doivent dépenser par l'autre; et on ne peut pas supposer que les sections des eaux vives soient égales dans les diverses parties du cours des torrents.

4°. Les inondations des torrents sont des effets nécessaires, lorsqu'on n'a pas l'attention de proportionner les augmentations dans

(1) En descendant le mont Saint Gothard jusqu'à Staes, le Russ est, en été, augmenté visiblement de cent à cent pas par les ruisseaux qui tombent des amas de glace. *Tableaux de la Suisse*, *fig.* 30.

les dimensions du lit au volume d'eau qui peut y entrer dans un temps déterminé.

5°. Les sections des eaux vives dans des torrents de même longueur, et qui reçoivent les mêmes quantités d'eau dans leur lit à chaque instant, seront d'autant plus grandes, que les lits des torrents auront moins de pente. Par conséquent une plus grande élévation des eaux, des inondations même, ne prouvent pas le passage d'une plus grande quantité de ce fluide, lorsqu'on comparera des torrents dont les lits auront des profondeurs et des largeurs égales.

6°. Dans un même torrent, la pluie tombant d'une maniere égale dans toute son étendue, la hauteur des sections à l'extrémité inférieure annoncera une plus grande quantité d'eau, mais non pas une beaucoup plus grande vîtesse; car, la pente restant la même, l'accélération est la même : il est vrai seulement que tant que les eaux sont peu abondantes, la vîtesse est considérablement altérée par la résistance du fond et des bords. Mais lorsque le canal sera rempli jusqu'à un certain point, lorsque le mouvement des eaux sera bien établi et supérieur à celui que la chûte libre par la hauteur des sections pourroit produire, le frottement influera peu sur la vîtesse, pourvu que la grandeur des sections ne soit pas extrêmement différente.

SECTION IV.

De l'action des eaux pluviales qui se réunissent dans les torrents, sur celles qui y couloient déja et qui étoient entretenues par des sources.

259. On a attribué à la rapidité des eaux dans les torrents et les rivieres un grand nombre d'effets qu'elle ne peut pas produire. On lit dans l'histoire naturelle de Provence, par M. Darluc, que, lors des crues de la Durance, il souffle un vent si impétueux sur ses bords par la compression que l'air éprouve, qu'il n'est pas prudent de s'approcher de cette riviere. Cela est absolument contraire à la vérité. On observe bien, presque toujours près de la

Durance, indépendamment des vents généraux, quelque agitation dans l'atmosphere; mais cela est produit par l'étendue que ses eaux occupent, par la différence de leur température avec celle de l'air ambiant, enfin par les vapeurs qui s'en élevent, et par celles qu'elle contribue à condenser.

J'ai entendu dire à des personnes d'ailleurs instruites, que, dans les subites et grandes crues des torrents, les eaux comprimoient l'air devant elles au point qu'il acquéroit une force suffisante pour déraciner les cailloux et les faire rouler avec la plus grande rapidité. Je ne crois pas devoir réfuter cette assertion extraordinaire, d'autant mieux que je ne puis l'imputer à aucun des auteurs qui ont écrit sur l'hydraulique : c'est vraisemblablement un préjugé (1) populaire ancien. Mais je ne puis me dispenser de remarquer que Galilée, suivi en cela par tous ceux qui ont écrit sur la théorie des fleuves, en a adopté un qui a beaucoup de rapport avec celui-là, lorsqu'il a attribué le mouvement des eaux, dans la partie inférieure des fleuves, à la pression de celles qui sont plus voisines de leur origine.

260. Imaginons un canal incliné uniformément, d'une longueur

---

(1) On doit rapporter à la même origine ce que dit M. Darcet d'un effet des lavanges ou avalanges de neige.

« Cette lavange a cela d'extraordi« naire, qu'elle est accompagnée d'un « sifflement épouvantable, et d'au« tant plus violent, qu'elle a com« mencé par un vent plus fort : alors « rien ne résiste à l'impétuosité de « son cours; et l'explosion qui la pré« cede est telle, que *les obstacles sont* « *déja renversés un espace de temps* « *très sensible avant le choc de la la*« *vange :* mais on a vu souvent, par « des accidents semblables, des vil« lages entiers totalement rasés et en« gloutis ». (a)

(a) « C'est ainsi que fut rasée, il y a dix-huit « ans, la maison de M. Ducos, chirurgien« major de Barege : des caisses pleines de meu« bles, qui étoient dans la cave, furent ou« vertes par cette explosion et jettées dans la « rue; on vit avec étonnement une partie des « effets qu'elles contenoient portée sur la mon« tagne opposée à plus de 60 pieds d'élévation. « *On observa que la maison fut rasée un espace* « *de temps sensible avant l'arrivée et le choc* « *même de la masse de neige.* » (Dissertation sur l'état actuel des Pyrénées, et sur les causes de leur dégradation, page 28.)

indéterminée et sans eau; supposons qu'on fasse entrer subitement et continuellement par son extrémité supérieure un volume considérable de fluide: il est évident qu'à proportion que le canal sera plus long et moins incliné, il faudra plus de temps à l'eau pour parvenir à l'extrémité inférieure, et que ce fluide ne sauroit avoir aucune action sur les points du canal où il ne seroit point encore parvenu.

Imaginons ensuite qu'il y ait déja de l'eau dans le canal et que son cours soit établi: son mouvement seroit uniforme, accéléré ou retardé, selon que la résistance du fond et des bords seroit égale, moindre ou plus grande que la vîtesse produite par l'accélération. Dans ces différents cas, il est clair qu'on peut considérer chaque section comme un corps solide isolé qui, selon les positions qu'il occupe, soit que sa vîtesse initiale soit conservée, ou diminuée, ou augmentée, ne sauroit éprouver aucune altération dans son mouvement par l'action des tranches qui la suivent. Nous avons vu que, dans l'écoulement de l'eau sur des plans inclinés, il y avoit une partie du poids de ce fluide qui étoit soutenue par le plan incliné, et que l'autre obéissoit à la pesanteur; mais l'eau ne peut pas à la fois prendre la vîtesse que la pesanteur relative peut produire, et peser sur les tranches inférieures.

Supposons enfin qu'on fasse entrer subitement par l'extrémité supérieure du canal un volume d'eau considérable dont la vîtesse soit plus grande que celle du fluide qui couloit déja: l'eau affluente s'incorporera, pour ainsi dire, avec celle qui se trouvera sur son cours, et lui fera partager sa vîtesse. Mais ce dernier effet ne pourra avoir lieu qu'après leur jonction; car la communication et le partage de la vîtesse ne peuvent pas exister avant l'action, sans laquelle il n'y auroit point de vîtesse communiquée.

Si toute l'eau qui se trouve dans le lit d'une riviere étoit contenue de tous les côtés, elle ne formeroit alors qu'une masse unique. Il n'est pas douteux que, quelle que fût son étendue, un volume d'eau qui peseroit sur une de ses extrémités exerceroit tout de

suite une pression, relative à son élévation, sur l'autre extrémité de la riviere. Cet effet seroit une suite nécessaire des loix de l'hydrostatique; mais l'état des eaux dans les rivieres ne peut pas être assimilé à celui où ce fluide seroit contenu de toutes parts dans un vase. Dans ce dernier cas, la pression est exercée sur chacune des particules d'eau, parcequ'il n'y en a aucune qui puisse recevoir de mouvement, au lieu que dans les rivieres on peut modifier à volonté le mouvement de tel volume d'eau qu'on voudra choisir; pourvu qu'on dirige sur lui une puissance relative à l'effet qu'on se proposera de produire.

Nous avons déja observé que, dans les vases inclinés et fermés de tous les côtés, la pression s'y exerçoit de la même maniere que dans les vases droits, pourvu qu'on prît des points également distants du niveau. Nous avons fait voir aussi que, dès qu'on permettoit à l'eau de s'échapper librement, ce fluide n'éprouvoit aucune pression, ni à sa surface supérieure, ni à celle qui se trouvoit opposée au plan sur lequel il couloit; et que, dans chaque tranche, la pression qu'éprouvoit chaque particule d'eau étoit relative à l'élévation du fluide situé verticalement au-dessus d'elle, modifiée encore par l'inclinaison du plan. La longueur du plan incliné au-dessus de cette section pourroit être immense, ainsi que le volume d'eau qu'il pourroit supporter, sans que cela changeât rien à l'effet de la pression, qui est extrêmement borné, et d'autant plus foible que l'inclinaison du plan est plus grande.

Il est évident que, si on avoit un canal horizontal d'une longueur indéterminée, barré à ses deux bouts par des vannes, la pression que ces vannes supporteroient seroit constante et égale au poids d'un volume d'eau qui auroit pour base ces vannes et la moitié de leur hauteur. On sait encore qu'en prenant à volonté une section dans ce canal, chaque particule d'eau y supportera le poids de la colonne située immédiatement au-dessus, et que les sections voisines de celles qu'on aura choisies éprouveront la même action qu'elle, et se soutiendront mutuellement en équilibre.

Si, le canal étant toujours horizontal, il y avoit une partie des eaux qui s'échappât avec une vîtesse quelconque, pourvu que cette vîtesse fût uniforme; la surface du fluide resteroit de niveau, et la pression s'exerceroit dans chaque section et sur chaque particule de fluide exactement de la même maniere que si l'eau étoit en repos dans le canal.

Si enfin, l'eau étant en mouvement, sa surface étoit inclinée, il n'y auroit point d'équilibre entre les sections voisines; mais l'excès de pression qu'une section éprouveroit de la part de la section supérieure seroit déterminé par la différence de leur niveau. Or, dans les rivieres, cette différence est, pour ainsi dire, nulle.

Le Rhône a environ cent lieues de cours, dont chacune contient 2850 toises, depuis le lac de Geneve jusqu'à son entrée dans la mer. La hauteur du lac de Geneve, sur le niveau de la Méditerranée, est de 188 toises, selon M. de Luc. D'après ces données, en supposant la pente du fleuve uniforme, on trouve qu'elle est d'une toise sur 1516 toises, ou de 25 lignes sur 47 toises, ou bien d'une demi-ligne environ par toise.

La riviere des Amazones, deux cents lieues avant de parvenir à son embouchure, n'est guere élevée que de 12 toises sur le niveau de la mer. Sa pente peut donc être considérée comme nulle dans toute l'étendue de cette partie de son cours. La pression dans chaque section sera par conséquent exercée de la même maniere que dans un canal où l'eau seroit dormante, et auroit sa surface parfaitement de niveau.

Tous les fleuves montrent successivement dans leur lit des affouillements et des pentes, des courants rapides et des amas d'eaux presque dormantes. On voit donc que, quand même toutes les sections ne pourroient pas être regardées comme n'éprouvant de la part de celles qui les avoisinent que la pression qu'elles exercent aussi sur elles, on ne pourroit au moins se dispenser de reconnoître que les fleuves, soit qu'ils soient dans leur état ordinaire, soit qu'ils éprouvent des crues considérables, ne soient formés d'une infinité

de masses détachées qui n'exercent les unes sur les autres aucune action réciproque, puisqu'elles se meuvent constamment dans la même direction avec des vîtesses qui sont alternativement fortes et foibles. Le mouvement y parvient bien à un état constant; mais cette uniformité n'est que locale, et son intensité change selon les parties du cours des fleuves où on l'observe.

L'eau contenue dans le lit des fleuves n'est pas dans le cas de celle qui est resserrée de tous les côtés dans un réservoir ou dans un tuyau. L'action des eaux qui coulent à l'origine du fleuve sur celles qui occupent le milieu ou l'extrémité de leur cours est donc imaginaire. Voici quelques unes des conséquences qui résulteroient du principe établi par Galilée, s'il étoit vrai.

Si, dans le lit des fleuves, les eaux supérieures agissoient sur les inférieures, en barrant celles-ci on empêcheroit les autres de couler.

Dans la même position, lorsque les eaux supérieures deviennent plus abondantes, le mouvement des autres devroit augmenter subitement d'une maniere uniforme; même, si le mouvement étoit d'autant plus considérable que la distance aux eaux affluentes seroit moindre, il pourroit y avoir des crues et des inondations dans le lit des rivieres à des points où les eaux affluentes ne seroient pas encore parvenues.

Si on fait attention que les fleuves près de leur embouchure dépensent à chaque instant toutes les eaux qu'ils reçoivent, dans le même temps, de toutes les rivieres et de tous les torrents dont ils sont formés; si on observe que les pluies n'ont pas lieu généralement, et que par conséquent les crues de toutes les rivieres qui forment un fleuve ne sont pas simultanées; si on se souvient enfin que, dans tous les lieux où les crues sont subites et considérables, la vîtesse des eaux s'accroît subitement et devient fort grande, on verra que le volume des eaux nouvelles qui peuvent entrer subitement dans le lit d'un fleuve ne forme, pour ainsi dire, qu'une masse infiniment petite en comparaison de celle qui est due à la

réunion de toutes les eaux qui existent au-dessous de l'endroit où la crue a eu lieu. Une masse fort petite pourroit donc non seulement ébranler, mais même faire mouvoir une autre masse de même matiere, et qui auroit un volume immense, sans que la résistance que celle-ci peut opposer altérât en aucune maniere la vîtesse de l'autre; vîtesse qui est toujours limitée, qui n'excede guere 12 pieds par seconde, et qui, dans une infinité de cas, est beaucoup moindre.

« Lorsqu'il doit arriver une crue d'eau, dit M. de Buffon, « *Théorie de la terre, tome II, page* 56, les gens de riviere s'en « apperçoivent par un mouvement particulier qu'ils remarquent « dans l'eau: ils disent que la riviere mouve de fond, c'est-à-dire « que l'eau du fond de la riviere coule plus vîte qu'elle ne coule « ordinairement. Cette augmentation de vîtesse dans l'eau du fond « de la riviere annonce toujours, selon eux, un prompt et subit « accroissement des eaux. Le mouvement et le poids des eaux su« périeures qui ne sont point encore arrivées ne laissent pas d'agir « sur les eaux de la partie inférieure de la riviere, et leur commu« niquent le mouvement: car il faut, à certains égards, considérer « un fleuve qui est contenu et qui coule dans son lit, comme une « colonne d'eau qui coule dans un tuyau, et le fleuve entier comme « un très grand canal où les mouvements doivent se communiquer « d'un bout à l'autre. »

Nous venons de montrer que les eaux inférieures des fleuves ne soutenoient pas le poids des supérieures; il n'est pas nécessaire de recourir à cette supposition pour expliquer le fait que M. de Buffon rapporte. Les crues des torrents, à quelque élévation qu'elles parviennent, sont successives; et cet effet est encore plus gradué dans les fleuves, parceque toutes les rivieres dont ils sont formés ne grossissent pas à la fois. Ainsi, *lorsque l'eau du fond d'une riviere coule plus vîte qu'elle ne coule ordinairement*, c'est une preuve qu'elle éprouve alors une crue, et que les premieres eaux qu'elle a reçues supérieurement arrivent au point où le changement de vîtesse est

sensible;

sensible ; mais cette augmentation de vîtesse *ne peut pas annoncer toujours un prompt et subit accroissement des eaux.* Cet effet doit essentiellement varier selon la grandeur des crues. Il doit être peu considérable et passager si les crues sont peu considérables et passageres, peu considérable et constant si les crues sont peu considérables et constantes, considérable et passager si les crues sont grandes et passageres, enfin considérable et constant si les crues sont grandes et constantes.

SECTION V.

De la pente des fleuves.

261. Toutes les rivieres naissent sur des montagnes, et terminent leur cours dans la mer ou dans des lacs. La pente de leur lit augmente ainsi avec la hauteur des lieux où elles se forment, et à proportion que l'intervalle qui sépare leur origine de leur embouchure est plus court. Au reste, cet intervalle n'est point exprimé par la plus courte distance qui peut se trouver entre leur source et leur embouchure, mais par le développement entier de leur lit.

Les sources du Rhin, du Rhône et du Danube, sont placées sur des parties également élevées des Alpes; mais le développement du Danube étant plus long, sa pente est moindre que celle des deux autres fleuves. Il faut rapporter à la même cause la différence des pentes de la Durance et du Pô, du Maragnon et de la riviere des Émeraudes.

262. La pente des fleuves n'est pas distribuée d'une maniere uniforme : elle est ordinairement fort grande tant qu'ils coulent sur des pays montagneux et dans des lits étroits; elle est peu sensible lorsqu'ils serpentent dans des plaines, lorsque leurs eaux peuvent s'étendre sur de grands espaces et former des lacs.

La différence de niveau entre les sources d'un fleuve et son embouchure peut être souvent très considérable, sans que la pente du lit soit bien sensible ; cela arrive lorsque le cours de ce fleuve

est interrompu par plusieurs cataractes, et lorsqu'au-dessous de chaque chûte le pays est plat. L'Amérique septentrionale, l'Afrique, etc. ont un grand nombre de rivieres considérables qu'on remonte facilement à cause de leur peu de pente, et qui ne seroient souvent pas navigables sans les chûtes qui interrompent leur cours. Il est vrai qu'on est contraint, lorsqu'on veut franchir ces chûtes, de faire porter les bateaux sur des bêtes de somme, ou d'en construire d'autres: mais cet inconvénient est bien compensé par l'avantage d'avoir sur un plus grand espace une navigation facile et sûre.

263. Les rivieres ont ordinairement très peu de pente au voisinage de leur embouchure, et elles traversent presque toujours, avant de perdre leur nom, des plaines formées de leurs dépôts: mais la partie de leur cours, où leur niveau est sensiblement horizontal, n'est déterminé ni par le volume ni par la rapidité de leurs eaux: la situation des lieux détermine tout. Les rivieres ne sauroient produire de grands changements à la surface de la terre; leurs eaux se moulent, pour ainsi dire, sur la forme qu'elle leur présente. Toutes les fois qu'il se rencontre des rochers élevés, continus et durs, sur le cours d'une riviere, ses eaux peuvent bien insensiblement leur faire subir des altérations, mais elles sont forcées de se plier à l'irrégularité du contour de ces masses: elles ne coulent pas alors par des canaux qu'elles se soient formés; elles annoncent par leur murmure et la variété de leurs mouvements les obstacles qui les arrêtent.

Il y a, sur la côte d'Afrique et dans la Chine, un grand nombre de rivieres qui coulent à travers des rochers près de leur embouchure; il s'en trouve même qui sont interrompus par des cataractes (1) à peu de distance de la mer.

(1) La riviere de Zaïre entre avec tant d'impétuosité dans l'Océan, qu'à 30 ou 40 milles de la terre, et quelquefois 80, ses eaux se conservent fraîches; les matelots en boivent à cette distance, et les reconnoissent à leur épaisseur: cependant elle n'est navigable que l'espace d'environ 25

Lorsque les rivieres trouvent d'intervalle en intervalle des rochers sur toute la largeur de leur lit, et lorsque d'ailleurs elles coulent sur des matieres qu'elles déplacent avec peine, leur pente est déterminée par la position de ces rochers; elle est même uniforme dans l'intervalle qui les sépare, si les dimensions du lit ne changent pas.

264. C'est une bien grande erreur de regarder la pente des rivieres comme l'effet de l'abondance et de la rapidité de leurs eaux; elle dépend uniquement de l'inclinaison des vallées qu'elles traversent, et cette inclinaison a été variée à l'infini par la nature.

Combien n'y a-t-il pas de rivieres considérables qui, après être descendues des montagnes avec rapidité, perdent leur nom et leur vîtesse en remplissant des bassins immenses (1) que la nature avoit creusés sur leur cours, et présentent même plusieurs fois ces alternatives de repos et de mouvement! Par-tout elles s'assujettissent à la pente du terrain (2) où elles coulent, et il est aussi peu raisonnable d'attribuer à leur action l'inclinaison des vallées qu'elles traversent que la profondeur des lacs qu'elles remplissent.

265. Ce n'est ni par sa distance à la mer, ni par l'étendue de son cours, ni par l'abondance des eaux qu'une riviere rassemble, que sa pente est déterminée. L'inclinaison de son lit dépend uniquement de l'organisation primitive de la terre. Nous donnerons les preuves les plus évidentes de ce que nous avançons, lorsqu'il

milles, au-delà desquels, étant resserrée par des rochers, elle tombe avec un bruit qui se fait entendre à 7 ou 8 milles. *Histoire générale des Voyages, tom. IV, pag.* 613.

(1) Le Rhône, l'Adda, le Tesin, le Rhin, etc.

(2) Le Rhin est singulièrement bizarre dans ses débordements, et sa navigation est difficile, tant à cause de sa rapidité que des coupures qu'il fait dans son cours, où l'on voit un grand nombre d'isles couvertes de broussailles et d'un accès très pénible. Quand ses eaux sont basses, ce qui arrive dans l'hiver, *on voit son lit hérissé de rochers dans une grande partie de son cours*: il gele dans les hivers rigoureux. *Tableaux topog. pitt. de la Suisse, pag.* 24.

sera question de la maniere dont les rivieres établissent leur lit: nous nous bornerons, pour ainsi dire, à présent à l'exposition des phénomenes, et à rapporter quelques exemples.

La Saône a un cours plus long que la Durance; mais sa pente est si peu sensible et sa surface est si unie, que, dans un très grand espace, on pourroit être incertain sur la direction du cours de ses eaux.

Le niveau du lac de Geneve n'est élevé que de 188 toises sur celui de la mer, selon M. de Luc. A Lyon, selon le même auteur, le Rhône a déja perdu 104 toises de pente.

La Durance à Sisteron est élevée de 238 toises sur le niveau de la mer. A la prise d'eau du canal de Floquet (1), point éloigné seulement de 9 lieues de la mer, le niveau de la Durance est encore élevé de 100 toises sur celui de la mer, et il est supérieur à celui du Rhône à Lyon de 16 toises. La pente de la Durance est sensiblement uniforme, et elle n'est altérée subitement nulle part par des cataractes. Le Rhône n'est pas interrompu non plus par des chûtes depuis Lyon jusqu'à la mer.

266. On trouve dans l'ouvrage de M. de Buat l'expression de la pente des rivieres tirée de la connoissance de leur largeur, de leur profondeur et de leur vîtesse; mais en supposant que ces élémens fussent aisés à déterminer, et qu'ils eussent l'influence que cet auteur leur suppose, il seroit toujours très long d'employer ce moyen. Il est sans doute important, dans une infinité de circonstances, de connoître avec exactitude la pente d'une riviere: mais ce n'est pas une théorie nécessairement incertaine qu'il faut alors consulter, la simplicité et la sûreté doivent faire recourir aux regles du nivellement.

Dans toutes les rivieres, la pente de la surface de l'eau est beau-

(1) L'élévation du niveau de la Durance à Sisteron a été déterminée par des observations barométriques; mais celle de la prise d'eau du canal de Floquet a été déterminée rigoureusement.

coup plus réguliere et plus uniforme que celle du fond. On en verra la raison lorsqu'il sera question de l'établissement de leur lit.

SECTION VI.

De la vîtesse des fleuves.

267. Les fleuves conservent souvent le même nom dans toute l'étendue de leur cours; mais, en s'éloignant de leur origine, le volume de leurs eaux, leur direction, leur pente et leur vîtesse changent continuellement, et donnent ainsi naissance à une infinité de phénomenes différents.

On a peu d'observations suivies sur la vîtesse des fleuves dans les diverses parties de leur cours, et dans les différents degrés d'élévation auxquels leurs eaux parviennent. Ces connoissances sont difficiles à acquérir, et l'occasion même en est fort rare, dès que les fleuves ont une largeur considérable, et lorsque leur rapidité ne permet pas qu'on puisse les remonter facilement.

Au reste, rien n'est si équivoque ni si indéterminé que ce qu'on entend par *rapidité* d'une riviere. Ce terme est souvent employé dans les livres de voyages. Lorsque c'est un navigateur qui en fait usage, et lorsqu'il veut marquer la difficulté qu'il a éprouvée à remonter une riviere, il dit qu'elle est *extrêmement rapide.* Mais on ne doit pas conclure de là que la vîtesse des eaux soit bien considérable: on ne peut avoir sur cet objet des idées justes qu'autant qu'on mesure rigoureusement l'espace que les corps légers exposés au courant parcourent dans un temps déterminé. Ainsi lorsqu'on lit dans les auteurs les passages suivants: « Le Rhône est le fleuve *le* « *plus rapide* qui soit en France. . . . La Durance est *extrêmement* « *rapide.* . . . La riviere de Yémin va se jetter au NE de la mer cas- « pienne. Ses eaux sont *d'une rapidité extrême;* mais elles ont peu « de profondeur. . . . La riviere de Wenju a plus de 100 pas de « large, sans avoir plus de 5 pieds de profondeur; mais elle est si « étroite par le fond, et le courant *est si rapide,* qu'on y perdit qua- « tre hommes, trente chevaux et sept chameaux. . . . La riviere

« Jaune a un cours de 600 lieues. Quoiqu'elle soit d'une extrême « largeur, elle est peu navigable : son cours *est si rapide*, que, sans « un vent très frais et très favorable, il est impossible de la remon- « ter. . . . . Le cours de la riviere Jaune *est si rapide*, qu'il n'y a « point de barque qui puisse la remonter sans être tirée par un « grand nombre de matelots. . . . Le cap Tourmente est à 110 lieues « de la mer, et l'eau du fleuve Saint-Laurent y est encore saumâtre : « phénomene assez étrange, malgré la largeur du fleuve, si l'on « considere *son extrême rapidité*. . . . »

On voit dans ces exemples qu'on attribue une *extrême rapidité* à des rivieres qui ont des vîtesses fort différentes. En effet, les unes (1) peuvent être remontées facilement à la voile ; les autres ne sont remontées que difficilement (2) par ce moyen ; enfin les dernieres ne peuvent pas être remontées, à moins d'employer un grand nombre d'hommes et de chevaux (3).

Au reste, on va s'assurer qu'il ne faut pas que les rivieres aient une vîtesse bien grande pour empêcher les bâtiments de les remonter.

« Le 23 nous remontâmes le fleuve de Chagre à force de rames ; « le 24 nous continuâmes de même : mais nos rames ne pouvant « surmonter la force du courant, nous fûmes obligés de nous faire « touer. Nous mesurâmes le cours de l'eau à 1 heure $\frac{1}{2}$ du soir, et « nous trouvâmes qu'en 40 secondes $\frac{1}{2}$ l'eau parcouroit un espace « de 10 toises 1 pied (1 pied $\frac{1}{2}$ par seconde) ; nous continuâmes « d'aller à la toue jusqu'au 27 que nous arrivâmes à Cruces. . . . . « A mesure qu'on avance dans les terres, la rapidité de l'eau aug- « mente considérablement, puisque le 25 nous observâmes qu'en « 26 secondes $\frac{1}{2}$ l'eau couroit 10 toises dans le lieu où nous pas- « sâmes la nuit (2 pieds $\frac{1}{3}$ par seconde) ; le 26 en 14 secondes $\frac{1}{2}$ « les mêmes 10 toises (4 pieds $\frac{1}{3}$ par seconde) ; et à Cruces le 27

(1) Le fleuve Saint-Laurent.
(2) La riviere Jaune.
(3) Le Rhône, la Durance.

« en 16 secondes le même espace de 10 toises (3 pieds $\frac{3}{4}$ par se-« conde); de sorte que l'eau de cette riviere parcourt 2483 toises « par heure, ce qui fait à peu près 1 lieue ». *Voyage au Pérou de Ulloa, tom. I, pag. 94.*

M. de la Condamine rapporte, dans son voyage sur l'Amazone, qu'il mesuroit avec attention la vîtesse des rivieres qui descendent de la Cordilliere: mais il n'a fait mention dans son journal imprimé que de la vîtesse du Maragnon au fameux détroit du Pongo. Il dit que, dans l'endroit le plus étroit, il faisoit 2 toises par seconde, et que cependant sa balse ne pouvoit pas prendre toute la vîtesse du courant: d'ailleurs il ne franchit pas ce passage dans le temps des hautes eaux. Ses mariniers trouverent d'abord que la riviere n'étoit pas assez basse, et ils le détinrent pendant deux jours. Dans cet intervalle de temps, les eaux baisserent considérablement. « En 36 heures le fleuve baissa de 25 pieds, et il conti-« nuoit à décroître à vue d'œil. Ce fut alors que l'éclat d'une grosse « branche d'un arbre caché sous l'eau, s'étant engagé entre les « pieces de bois de son train, y pénétroit de plus en plus à mesure « que celui-ci baissoit avec le niveau de l'eau; et il se vit au mo-« ment, s'il n'eût pas été présent et éveillé, de rester avec le ra-« deau accroché et suspendu en l'air à une branche d'arbre, où le « moins qui pouvoit lui arriver étoit de perdre ses journaux et pa-« piers d'observations, fruit de huit ans de travail. Il trouva heu-« reusement enfin moyen de couper la branche, et de remettre le « radeau à flot. »

On voit par ces extraits que, si le fleuve avoit baissé, dans les dernieres 12 heures qui précéderent le départ de M. de la Condamine, dans la même proportion qu'il avoit décru dans les premieres 36 heures, les eaux auroient réellement diminué dans ces deux jours de 33 pieds. Or il n'est pas douteux que cet auteur n'eût observé une plus grande vîtesse, s'il se fût laissé entraîner par le courant lorsque les eaux avoient 5 toises d'élévation de plus.

« Enfin, dans le Pongo, le mouvement de l'eau à la surface étoit

« très irrégulier. Dans plusieurs endroits la violence du courant est « telle, que, quoiqu'il n'y ait pas des sauts proprement dits, les « eaux semblent se précipiter, et leur choc contre les rochers cause « un bruit effroyable. Je ne dis rien des tournants, qui sont très mul- « tipliés, et quelquefois très dangereux.

« Le 12 juillet à midi, je fis détacher la balse et pousser au large; « mais il fallut outre cela me faire remorquer par un canot jusqu'au « milieu du lit du fleuve, où la balse, abandonnée au fil de l'eau, « fut entraînée rapidement. Bientôt je me trouvai dans une galerie « étroite, profonde et tortueuse, minée par les eaux dans le roc, « et éclairée seulement par le haut. Quelques pans du rocher, et « plusieurs arbres qui s'avancent en saillie comme pour former une « voûte, rendent le jour plus sombre. La hauteur des bords, qui se « dérobe à la vue, semble les rapprocher à portée de la main: il est « difficile de donner une idée de ce spectacle singulier qui varie à « chaque instant. J'avois eu à peine le temps d'en jouir, que je me « trouvai à la vue de Borja, qu'on suppose, suivant l'estime ordi- « naire, à trois lieues de Sant-Iago. . . . Le canal du Pongo, creusé « des mains de la nature, commence une petite demi-lieue au- « dessous de Sant-Iago; et, de 250 toises au moins qu'il a au-dessous « de la rencontre des deux rivieres, il parvient à n'avoir guere que « 25 toises dans son plus étroit. . . . . J'ai compté à ma montre 57 « minutes depuis l'entrée du détroit jusqu'à Borja; et, quelque « effort que je fasse pour me rapprocher de l'opinion reçue, j'ai « peine à trouver deux lieues de 20 au degré de Sant-Iago à Borja, « au lieu des trois lieues que l'on compte ordinairement ». *Mémoires de l'Académie, 1745, pag.* 415.

La vîtesse moyenne, d'après ces données, étoit de 10 pieds par seconde dans le Pongo, à la surface du fleuve, lorsque M. de la Condamine le parcourut.

« En hiver, quand il pleut dans les montagnes, le fleuve de « Santa s'enfle de maniere qu'il n'y a pas moyen de le guéer nulle « part pendant plusieurs jours. . . . Quand on n'est pas embarrassé

de

« de bagages, on se sert de balses de calebasses jointes ensemble, « et l'on commence à passer en louvoyant à 6 lieues au-dessus du « bourg : mais assurément ce n'est jamais sans danger ; car quel-« quefois le courant est si fort, qu'il emporte la balse avec sa charge « dans la mer. Lorsque nous le traversâmes, il étoit extrêmement « bas. Toutefois, par trois expériences que nous fîmes sur ses bords, « et qui s'accordoient toutes, nous trouvâmes qu'en 29 secondes « $\frac{1}{2}$ l'eau parcouroit 35 toises, c'est-à-dire 7 pieds par seconde ; « 4271 toises dans une heure, ce qui fait une lieue et demie ma-« rine. La violence de cette eau est néanmoins un peu moins grande « que celle que M. de la Condamine remarque dans la relation de « son voyage au fleuve du Maragnon au Pongo. Je ne doute pour-« tant pas que, quand le fleuve de Santa est parvenu à son plus haut « degré de profondeur, il ne surpasse en célérité l'eau du Pongo ; « et ce qui me le fait croire, c'est que, lorsque nous fîmes cette « observation, il étoit aussi bas qu'il puisse l'être ». *Voyage au Pérou de Ulloa, tom. I, pag.* 417.

J'ai mesuré la Durance, dans plusieurs points de son cours, depuis Sisteron jusqu'à son embouchure dans le Rhône, et dans un temps où ses eaux, quoique troubles, étoient peu élevées. Je trouvai sa vîtesse de 8 pieds par seconde dans différents endroits, et je ne l'observai jamais de plus de 10 pieds par seconde. Elle me parut devenir plus foible à mesure que j'approchois de son embouchure : elle avoit en effet alors toujours plus de profondeur et moins de pente. Je ne doute point que, dans ses plus grandes crues, la vîtesse ne soit de 12 à 15 pieds dans un grand nombre de points de son cours. Mais il est très difficile de s'assurer directement de cela ; le courant principal est presque toujours alors loin des bords, et la navigation est interdite sur cette riviere.

La pente des rivieres est la principale cause de leur vîtesse. Elles coulent réellement, depuis leur origine jusqu'à la mer, sur des plans inclinés. Leur rapidité, selon la théorie de Galilée, devroit aller toujours en augmentant ; mais cela n'a pas lieu dans la nature. La

résistance du fond et des bords réduit bientôt le mouvement des eaux à l'uniformité; et si la pente diminue ensuite, la vîtesse diminue avec elle. On observe seulement que les eaux de la même riviere ont une vîtesse d'autant plus grande, que leur volume est plus grand. Ce n'est pas qu'alors leur vîtesse ne parvient bientôt à l'uniformité; mais, la résistance du fond et des bords restant la même, une masse plus grande doit nécessairement acquérir et conserver une plus grande vîtesse. Dans les éboulements qu'éprouvent les montagnes, ce sont toujours les plus gros rochers qui franchissent un plus grand espace avant de parvenir au repos.

268. Dans les montagnes, la pente des rivieres est ordinairement fort grande: mais alors le volume de leurs eaux n'est pas bien considérable. L'irrégularité de leur lit, leurs sinuosités, les rochers qu'elles choquent, modifient et alterent continuellement leur vîtesse. Aussi, pour donner un exemple bien frappant, on remarque que les torrents qui se jettent dans la Durance depuis Sisteron avec une pente plus grande que cette riviere, ont tous une rapidité moindre dans tous les états où ils puissent passer. Mais il n'en seroit pas de même si le volume de leurs eaux étoit aussi grand que celui de la Durance; leur vîtesse deviendroit nécessairement plus grande que celle de cette riviere.

Lorsque, par l'action des feux souterrains, des volumes immenses de neige ont été fondus subitement, et ont coulé sur des pentes considérables, la vîtesse moyenne des eaux a été alors plus grande que celle d'aucune riviere existante. Dans l'inondation occasionnée par l'éruption de Cotopaxi (1), la vîtesse moyenne des eaux fut de 4 toises par seconde.

(1) « Quant au dernier incendie, « celui de 1742, qui s'est fait en notre « présence, il n'a causé de tort que par « la fonte des neiges, quoiqu'il ait ou« vert une nouvelle bouche à côté vers « le milieu de la hauteur. Il y eut deux « inondations subites, celle du 24 juin « et celle du 9 décembre. Mais la der« niere fut incomparablement plus « grande: l'eau, dans sa premiere im« pétuosité, bouleversa entièrement le « poste qui avoit servi de station à nos

Nous avons prouvé (§ 187) que la vîtesse des rivieres devoit être la même à différentes profondeurs, en faisant abstraction de la résistance du fond et des bords, lorsque la pente et la forme du lit étoient régulieres sur une étendue (1) considérable. L'observation confirme cette vérité dans tous les endroits où les circonstances que nous avons marquées ont lieu. Si on a observé que, dans certains points du cours des rivieres, la plus grande vîtesse étoit tantôt à la surface et tantôt à différentes profondeurs, ces effets auroient cessé de surprendre si on eût voulu faire attention qu'ils étoient produits par des causes particulieres, telles que des obstacles ou des affouillements. Dans ce dernier cas, la vîtesse est toujours plus grande à la surface, parceque les eaux les plus basses sont presque toujours forcées de couler, ou sur une moindre pente que les supérieures, ou même sur un plan incliné en sens contraire du cours général: en aval des obstacles, c'est le contraire, parceque les obstacles occasionnent une élévation du fluide en amont, et par conséquent une chûte en dessous. Or, dès qu'il y a une chûte, la vîtesse est toujours moindre à la surface.

269. Si la vîtesse des rivieres étoit continuellement accélérée,

---

« sixieme et septieme triangles; elle « monta de plus de 120 pieds en certains endroits. Sans parler d'un nombre infini de bestiaux qu'elle enleva, « elle rasa cinq à six cents maisons, « et elle fit périr huit à neuf cents personnes. Toutes ces eaux avoient *dix-sept à dix-huit lieues* de chemin à « parcourir, ou plutôt à ravager, vers « le sud dans la Cordilliere, avant que « de pouvoir en sortir par le pied de « Tongurara: elles ne mirent pas plus « de *trois heures* à faire ce trajet ». *Mémoires de l'Académie, 1744, pag. 272. M. Bouguer.*

En 1743 et 1744, le même volcan fit des ravages semblables à ceux que je viens de décrire, et causa de terribles inondations. On en trouve les détails dans le voyage au Pérou de Dom George Juan, pag. 354.

(1) Si la vîtesse de l'eau augmentoit avec la profondeur, comme l'a enseigné Guglielmini, il seroit impossible de sonder les rivieres qui ont une grande profondeur. Or M. de la Condamine n'a éprouvé aucun obstacle lorsqu'il a voulu sonder le Maragnon. Dans l'endroit où cette riviere commence à être navigable, il trouva sa largeur de 135 toises; mais comme plusieurs rivieres qu'elle reçoit au-

selon les loix de la chûte des graves, le long des plans inclinés, on pourroit alors se servir de cette vîtesse pour connoître la hauteur des lieux où leur cours auroit commencé.

Mais outre qu'une riviere, à mesure qu'elle s'éloigne de son origine, est grossie successivement par d'autres rivieres qui ont des pentes et des vîtesses différentes, il est constant que ses eaux, en approchant de leur embouchure, ont peu de vîtesse. Regarderoit-on la vîtesse (1) du Rhône à Arles comme l'effet de la chûte libre de 188 toises? Or cette hauteur exprime celle du lac de Geneve sur le niveau de la mer.

270. Il peut être avantageux dans quelques circonstances de regarder la vîtesse actuelle d'une riviere, lorsqu'elle est parvenue à l'uniformité, comme si elle étoit produite par la chûte libre d'une certaine hauteur; mais il ne faut pas considérer cette vîtesse comme le reste de celle que les obstacles lui ont fait perdre, attendu que la vîtesse d'une riviere ne croît ni ne décroît d'une maniere réguliere.

Nous avons vu que la vîtesse dépendoit essentiellement de la pente; mais nous avons remarqué aussi que, sur la même pente, un plus grand volume d'eau prenoit et conservoit plus de vîtesse. On doit conclure de là que la plus grande vîtesse ne doit répondre

---

dessus sont plus larges, M. de la Condamine jugea qu'elle devoit être d'une grande profondeur. En effet, avec un cordeau de 28 brasses, il ne rencontra le fond qu'au tiers de sa largeur. Il ne put sonder au milieu du lit, où la vîtesse d'un canot abandonné au courant étoit d'une toise un quart par seconde. Si on calcule la vîtesse que devoit avoir, selon Guglielmini, l'eau du Maragnon à la profondeur de 28 brasses, on trouve qu'elle excede 90 pieds par seconde. Si cette théorie avoit été vraie, on auroit pu en retirer des avantages infinis pour la navigation, etc. mais c'est assez s'arrêter sur des chimeres.

(1) J'ai mesuré cette vîtesse dans un temps où les eaux du fleuve étoient fort basses; je ne la trouvai que de 4 pieds $\frac{1}{2}$ par seconde dans les endroits où le courant étoit le plus fort. Dans le même temps, la plus grande vîtesse du fleuve à Beaucaire étoit d'environ 8 pieds.

ni à l'endroit où est la plus grande pente, ni à l'endroit où le volume des eaux est le plus grand, mais à celui où les effets combinés de la pente et du volume des eaux courantes donneront une plus grande somme.

271. On voit donc que le point du cours d'une riviere où la plus grande vîtesse a lieu, doit être presque toujours éloigné de son origine et de son embouchure. C'est ainsi que j'ai trouvé la Durance plus rapide de Mirabeau à Pertuis que dans les lieux supérieurs et inférieurs. Le Rhône, au voisinage du Pont-Saint-Esprit, est plus rapide qu'à Lyon et à Arles. Le Maragnon est plus rapide au détroit du Pongo, après 240 lieues de cours, que dans tous les endroits supérieurs et inférieurs où M. de la Condamine put mesurer sa vîtesse. Je pourrois citer autant d'exemples qu'il y a de rivieres, si on avoit des observations sur leur vîtesse dans les différentes parties de leur cours.

272. Il y a une distinction bien importante à faire entre la vîtesse d'une riviere dans les points de son lit où, après une crue subite et considérable, son cours s'établit, et la vîtesse de la même riviere dans les mêmes points lorsque son cours est parfaitement établi.

Supposons la riviere parvenue à sa plus grande élévation et son mouvement uniforme, il est clair que rien n'empêche de la considérer comme entretenue par un réservoir où l'eau est élevée convenablement; mais si on suppose que la crue soit subite dans un point quelconque de la riviere, ce cas est le même que celui où on observe l'eau dans l'instant qu'elle s'échappe du réservoir pour parcourir un canal. Or, tant que la hauteur du réservoir produiroit une plus grande vîtesse que celle que la hauteur vive de l'eau dans le canal peut occasionner, le mouvement de l'eau dans le canal est toujours nécessairement retardé; il l'est aussi tant que la pente n'est pas suffisante pour que l'accélération qu'elle peut produire surpasse l'effet de la résistance du fond et des bords sur la vîtesse moyenne; il est enfin encore retardé à proportion que la surface

du canal est plus grande relativement au volume de l'eau qui doit y couler, et que le canal est plus long.

Tous ces effets ont eu lieu dans les expériences que M. l'abbé Bossut a faites pour déterminer, sous différentes hauteurs du réservoir et sous différentes pentes, le rapport de la vîtesse de la premiere eau qui sortoit du réservoir avec la vîtesse de ce fluide lorsque son cours étoit bien établi dans toute l'étendue du canal.

Mais, dans la plus grande partie de l'étendue des rivieres, la pente est peu sensible et la vîtesse est peu considérable relativement à celle que la hauteur vive de l'eau pourroit occasionner. En effet, dans un réservoir destiné à fournir à la dépense d'un canal, l'eau ne devroit avoir qu'un pied 8 pouces d'élévation au-dessus de l'orifice pour donner au fluide qui s'échapperoit une vîtesse de 10 pieds par seconde.

Si on suppose qu'un volume d'eau de 6 pieds de hauteur entre subitement dans le lit d'une riviere, la vîtesse moyenne répondra aux $\frac{4}{9}$ de la hauteur vive de l'eau; or les $\frac{4}{9}$ de 6 pieds sont 2 pieds 8 pouces. La vîtesse qui répond à cette hauteur est de 12 pieds 7 pouces 9 lignes. J'ai prouvé (§ 159) qu'il n'en falloit prendre que la moitié: ainsi on aura, pour la vîtesse moyenne produite par la hauteur vive de l'eau, abstraction faite des obstacles, 6 pieds 3 pouces 10 lignes.

273. Il est sans doute très commode de pouvoir déterminer la vîtesse moyenne de l'eau lorsqu'on veut connoître la quantité qui s'en écoule dans un temps donné: mais lorsqu'il s'agit de marquer les effets que cette eau produit en coulant, il faut alors se garder de faire usage de cette vîtesse moyenne qui n'est qu'idéale; il faut employer celle qui a lieu pour chaque tranche. Or, lorsque la hauteur vive de l'eau est de 6 pieds, la vîtesse de la tranche la plus basse est, abstraction faite des obstacles, de 18 pieds 11 pouces 8 lignes selon la théorie ordinaire: en n'en prenant que la moitié, ainsi que je l'ai enseigné, la vîtesse de la tranche la plus basse sera de 9 pieds 5 pouces 10 lignes par seconde.

274. Ainsi l'on voit que dans les crues, à proportion qu'elles sont plus subites et plus abondantes, les tranches les plus basses des eaux affluentes ont une plus grande vîtesse que les autres, et que cette vîtesse excede par conséquent la vîtesse moyenne. Or, dans toutes les rivieres considérables, et sur-tout dans les parties de leur cours où la pente est peu sensible, la vîtesse moyenne qu'on trouveroit en prenant les $\frac{4}{9}$ de la hauteur vive de l'eau est presque toujours considérablement plus grande que la vîtesse réelle lorsque le cours des eaux est établi. Dans ce cas, la vîtesse de l'eau, lorsque son cours s'établit, est plus grande que lorsqu'il s'est établi. Pourtant il faut que la crue soit subite; car, lorsque la crue se fait par degrés insensibles, la pente restant la même, la vîtesse augmente bien avec le volume de l'eau: mais cet accroissement de vîtesse n'est pas comparable à celui que la hauteur vive de l'eau pourroit produire si ce fluide tomboit librement.

Il suit de là que la plus grande vîtesse produite par la hauteur vive de l'eau arrive à l'endroit où la crue est plus subite et plus abondante. Au-dessous de ce point, la hauteur vive de l'eau va toujours en diminuant jusqu'à ce que la vîtesse moyenne produite par cette hauteur soit égale à la vîtesse réelle de ce fluide au-dessus de l'endroit où la crue a eu lieu.

275. Mais lorsque la pente est considérable, la vîtesse produite dans les tranches inférieures par la hauteur vive de l'eau est souvent moindre que celle que l'accélération peut ensuite procurer à ce fluide lorsque son cours est établi. C'est ainsi que j'ai observé sur la Durance, dans des parties de son cours où sa profondeur n'excédoit pas 3 pieds $\frac{1}{2}$, que sa vîtesse étoit de 9 pieds $\frac{1}{2}$ par seconde, tandis que la vîtesse produite par la pression sur la tranche la plus basse n'étoit que de 7 pieds 2 pouces 11 lignes, et la vîtesse moyenne de 4 pieds 9 pouces 11 lignes seulement.

276. Quant aux rivieres dont les eaux ont déja beaucoup de profondeur lorsqu'il s'y forme des crues subites, la vîtesse qui s'établit au-dessous doit être moyenne entre la vîtesse primitive de la

riviere avant la crue et celle que peut produire l'eau affluente, en ayant d'ailleurs les égards qu'exigent les masses où volumes d'eau respectifs.

Il suit de là que plus une riviere est considérable, moins la crue d'une nouvelle riviere qu'elle reçoit cause de changement à son état et à sa vîtesse.

277. Lorsque je parle des rivieres profondes, je suppose cependant toujours que le fond de leur lit a quelque pente, et que leurs eaux sont toutes coulantes; car s'il étoit question des parties des rivieres où il y a des affouillements profonds remplis d'eaux dormantes, il est sensible que le premier effet des eaux affluentes seroit de déplacer les eaux qu'elles trouveroient dans ces affouillements : mais, en établissant leur cours dans cet espace, selon que leur écoulement au-dessous seroit plus ou moins libre, et selon que leur vîtesse primitive seroit plus ou moins grande, leur vîtesse et leur élévation dans ces affouillements varieroient beaucoup.

278. Si les affouillements étoient profonds et étendus, s'ils formoient, par exemple, des lacs, la vîtesse des eaux affluentes s'y affoibliroit par degré, et leur niveau s'éleveroit insensiblement jusqu'à ce que le lac pût fournir autant d'eau qu'il en reçoit. Il est évident que, si, au sortir du lac, l'écoulement pouvoit être parfaitement libre, en connoissant le volume et la vîtesse des eaux affluentes, ainsi que la largeur du canal à la sortie du lac, on détermineroit avec la plus grande facilité (§ 219) la hauteur à laquelle les eaux s'éleveroient dans le canal pour que la dépense du lac fût égale à la quantité de fluide qui y entre.

279. Mais si l'affouillement, quoique profond, étoit tel que sa capacité ne fût pas assez considérable, relativement au volume des eaux affluentes, pour leur faire perdre leur vîtesse, et pour empêcher qu'elles ne pussent toutes sortir de cet affouillement, il est certain qu'alors, dans les crues, les eaux ne s'éleveroient pas beaucoup dans cet endroit. En effet, le lit étant profond, toutes les eaux étant supposées coulantes, et la dépense étant la même que dans les

les points supérieurs où les sections des eaux vives ont moins d'étendue, il suffira, pour qu'il n'y ait pas de crue dans les affouillements, que la vîtesse des eaux dans ces affouillements soit à la vîtesse dans les points supérieurs où l'élévation des eaux est la plus grande, réciproquement comme les sections des eaux vives aux affouillements et à l'endroit où la crue a été plus sensible.

Cela sert à expliquer un phénomene que présentent beaucoup de rivieres. Il s'en trouve un grand nombre qui, à mesure qu'elles approchent de leur embouchure, coulent dans un lit plus profond; et cependant leur embouchure est séparée de la mer ou des fleuves où elles se jettent par une barre. Malgré cet obstacle, les inondations sont beaucoup moins ordinaires et moins considérables près de l'embouchure de ces rivieres que dans les points supérieurs de leur cours. On observe que, dans les crues abondantes, les eaux conservent beaucoup de vîtesse jusqu'à leur embouchure. Reçues alors dans un lit profond, elles ne le franchissent pas plus qu'elles ne l'auroient fait dans les parties supérieures de leur cours, si elles eussent pu y couler dans un canal qui eût une profondeur égale. En arrivant à la barre, elles la surmontent en vertu de leur vîtesse acquise (§ 233).

Cet effet n'a lieu cependant que dans les rivieres rapides; et on ne peut regarder comme exact ce que dit le célebre M. de la Lande dans son IVe volume d'Astronomie, page 154: « Tous les fleuves « montent en approchant de leur embouchure. M. de Lorme a « observé que la Saône, arrivant à Lyon, vers son confluent dans le « Rhône, est plus haute qu'elle ne l'est à une lieue plus près de sa « source, comme je l'ai remarqué dans mon Traité des canaux de « navigation. Elle ne coule pas moins sur ce plan incliné en contre-« haut; elle descend, pour ainsi dire, en montant, parcequ'elle « coule alors, non pas en vertu de la gravité qui tend toujours en « bas, mais en vertu de la force acquise et de l'impulsion des eaux « supérieures qui viennent du Mâconnois et du Beaujolois se pré-

« cipiter vers Lyon. Guglielmini avoit déja fait pareille observation « en Italie, ainsi que Zendrini. »

280. Les obstacles que les eaux rencontrent alterent beaucoup leur vîtesse. Dans les parties du cours des rivieres où le lit est uni, la surface des eaux est fort égale, quoique leur rapidité soit souvent très considérable: mais si le fond est irrégulier, parsemé de rochers, ou couvert de gros cailloux, la surface de l'eau indiquera par ses ondulations les irrégularités du fond; et cet effet sera d'autant plus sensible, que la vîtesse des eaux sera plus grande. Lorsque les eaux de la mer, poussées par le vent ou entraînées par des courants, forment dans quelques points des vagues plus élevées, ces vagues annoncent infailliblement des écueils.

281. Au reste, les vagues sur les rivieres n'indiquent pas toujours des inégalités dans le fond; il s'en forme de très considérables lorsque des courants différents viennent se choquer sous des angles plus ou moins grands. Les ondes sont alors d'autant plus élevées, que les eaux ont plus de vîtesse. On voit des exemples infinis de ce que je viens d'avancer sur la Durance, et sur toutes les autres rivieres rapides qui, ayant, comme elle, un cours incertain, et occupant à la fois des lits différents, ne paroissent jamais se réunir que pour se repousser avec violence et se disperser de nouveau.

282. Les rivieres perdent beaucoup de leur vîtesse dans toutes les parties de leur cours où elles serpentent. Barrées continuellement, elles ont toujours de nouveaux obstacles à surmonter; d'ailleurs leur pente diminue alors, et, avec elle, la principale cause de leur mouvement.

283. La vîtesse des rivieres diminue lorsqu'après avoir coulé dans un lit étroit elles passent dans un autre lit qui a beaucoup plus de largeur. La résistance du fond devient alors plus grande, et la pente moindre. C'est principalement dans ce cas qu'on observe au temps des crues un phénomene très remarquable: la surface du courant principal s'éleve considérablement au-dessus de celle des

autres courants particuliers, de maniere que les sections transversales sont terminées supérieurement par une courbe convexe qui a son sommet au point où se trouve la plus grande vîtesse.

M. de Buffon, suivi en cela par de très grands géometres, a pensé qu'au point où répondoit la grande vîtesse, la pression étoit moindre, et que les eaux s'y élevoient pour se mettre en équilibre avec celles qui les avoisinoient, et qui, ayant moins de mouvement, étoient supposées exercer une plus grande pression. J'ai fait voir (§ 132) que cette explication ne pouvoit pas être adoptée, et que la pression exercée sur le fond d'un canal, quelle que fût la vîtesse de l'eau, étoit constante, pourvu que la hauteur de ce fluide fût la même.

Il nous paroît aisé de rendre raison de ce phénomene. Représentons-nous un réservoir élevé entretenu toujours plein d'eau, et percé sur une de ses faces d'une ouverture rectangulaire à laquelle est adapté un canal qui ait les mêmes dimensions, et dont la pente soit suffisante pour que l'eau conserve la même vîtesse: il est évident que l'eau, en sortant du réservoir, aura et conservera la même élévation sur toute la largeur de ce canal, quelle que soit sa longueur.

Mais si, au lieu d'adapter à l'orifice du réservoir un canal qui ait les mêmes dimensions, on en place un qui, avec la même élévation, ait plus de largeur, il est évident que l'eau ne conservera pas, en entrant dans le canal, la forme qu'elle a en sortant du vase; la pesanteur, agissant sur elle, l'obligera de couler latéralement jusqu'à ce qu'elle puisse être arrêtée par les bords. Plus la vîtesse d'impulsion sera grande, moins, dans le même temps, l'effet de la pression sera sensible, et plus par conséquent le courant principal différera, par son élévation, des autres courants voisins. Ceux-ci, étant nourris par celui qui est dans la direction de l'orifice du réservoir, seront nécessairement moins élevés. En imaginant une section transversale du fluide dans le canal, on verra qu'elle est terminée par une courbe convexe qui a sa plus grande élévation là où

est le plus fort courant. Il est inutile de faire remarquer que le courant principal peut être placé indifféremment près d'un des bords, ou à tel autre point qu'on voudra imaginer, sur la largeur du canal. Cela dépend de la situation de ce canal relativement à l'orifice du réservoir.

Les rivieres peuvent être considérées comme entretenues par un réservoir où l'eau a une élévation convenable pour produire la vitesse dont elles sont animées, et on peut leur appliquer rigoureusement tout ce que nous venons de dire.

L'observation apprend que le courant principal n'est jamais plus élevé que lorsque les crues sont plus subites, que les eaux ont une plus grande rapidité, et qu'elles coulent sur un lit plus large (1).

(1) M. de Buat dit que « si, par « une cause quelconque, une colonne « fluide, comprise dans un fluide indéfini, ou contenue dans des parois « solides, vient à se mouvoir avec une « vitesse donnée, la pression qu'elle « exerçoit latéralement avant son mouvement contre le fluide ambiant, ou « contre la paroi solide, sera diminuée de toute celle qui est due à la « vitesse avec laquelle elle se meut... « Ainsi, dans une riviere dont le courant est uniforme et réglé, la surface « de l'eau, d'un bord à l'autre, est « terminée par une courbe convexe... « En considérant la veine fluide d'une « riviere comme divisée en plusieurs « faisceaux de filets dont les forces « motrices sont égales, puisqu'ils ont « tous même pente, mais dont les vitesses sont d'autant moins grandes « que la paroi est plus voisine, on voit « que ceux qui essuient par cette cause « une plus grande perte de vitesse « doivent exercer une plus grande « pression dans tous les sens que ceux « dont la vitesse perdue est moindre, « et que la somme des faisceaux qui « perdent le plus de vitesse est plus « grande vers les bords du courant « que dans le milieu : d'où il résulte « que, pour qu'il y ait équilibre entre « ces pressions latérales et inégales, « il faut que la surface du fluide s'éleve vers le milieu du courant en « même temps qu'elle s'abaisse vers « les bords. »

Dans les rivieres rapides, et sur-tout au temps des crues, le plus fort courant se distingue des autres par une plus grande élévation : mais la position de ce courant n'est point déterminée, et il peut s'établir, selon les circonstances, très près et fort loin des bords. Il est prouvé, par l'observation, que les eaux, à partir du plus fort courant, coulent à la fois et selon la direction du lit de la riviere, et se-

Cet effet est plus apparent sur la Durance que sur le Rhône; on l'y observe toujours; et, en général, il est sensible sur toutes les rivieres, quand on les examine avec quelque attention. En effet, que des corps légers soient exposés au courant principal, ils ne s'y arrêteront jamais long-temps, ils en seront comme repoussés, ils viendront toujours aboutir aux rives; et cela aura lieu d'autant plus promptement, que les rivieres seront plus rapides, et qu'il y aura plus de différence entre la vîtesse des différents courants.

C'est une erreur de croire que les eaux sont en équilibre sur la

---

lon la direction de sa largeur. Il n'y a donc alors pas plus d'équilibre entre les colonnes situées dans une section formée sur la largeur du lit qu'entre celles qui sont disposées dans la direction de sa largeur. L'idée d'équilibre entre des colonnes inégales situées sur le même niveau est opposée aux premiers principes de la méchanique. En effet, il est certain que, lorsque deux forces différentes animent un corps, si les deux forces ne sont pas opposées, l'une ne détruit pas l'effet de l'autre. Ainsi, en supposant une colonne de fluide mue avec une vîtesse quelconque sur un plan horizontal, ce plan supportera toujours tout le poids de la colonne: la tranche la plus basse sera donc pressée comme si le fluide étoit en repos; des colonnes de hauteur inégale presseront donc le fond inégalement; leurs pressions latérales seront par conséquent différentes: il n'y aura donc point d'équilibre entre elles.

Il est évident, d'après ce que nous venons de dire, qu'une masse d'eau qui se mouvroit avec une vîtesse quelconque dans un canal horizontal, presseroit autant le fond de ce canal que si elle étoit en repos, et que les pressions latérales, résultant de l'action de la pesanteur, s'exerceroient avec la même énergie; mais, si on formoit une ouverture au fond de ce canal, il ne faudroit pas s'attendre que l'eau s'échappât par cette ouverture avec la même facilité que si le fluide étoit en repos. Nous avons fait voir que, dans une infinité de cas, la dépense par une ouverture donnée pouvoit varier, quoique la pression exercée contre le fond fût la même avant l'écoulement. Indépendamment de ces cas qui pourroient avoir lieu dans la circonstance présente, il faut observer que l'eau qui répond à l'orifice est animée de deux forces, qu'elle suit nécessairement une direction moyenne; qu'elle choque les parois de l'orifice, et que son mouvement est retardé par ce choc. Si on fait attention à d'autres circonstances physiques, telles que l'adhérence des parties de l'eau, etc. on ne sera pas étonné de voir qu'à proportion que l'orifice sera plus petit

largeur de chaque section (1); elles coulent latéralement dans le même temps qu'elles suivent la direction du lit, et c'est en obéissant à ce double mouvement que les corps légers s'approchent des bords. En représentant par AB (*figure* 47) la direction du courant principal et l'espace qu'il peut parcourir dans un temps connu, par AI la direction du courant produit par l'excès de pression des colonnes du courant principal sur les colonnes latérales voisines, ainsi que l'espace que l'inégalité dans la hauteur des colonnes pourroit faire parcourir dans le même temps, AS représentera la direction moyenne, et c'est celle que les corps légers suivront.

Si on veut une autre démonstration de l'existence de ce double mouvement, qu'on observe les ondes qui viennent battre contre les bords de toutes les rivieres, même lorsqu'il regne dans l'atmosphere le calme le plus parfait. Puisque les eaux viennent s'élever sur les rives, c'est une preuve qu'elles ont une vîtesse dans la direction de ces mêmes rives. Sur les bords de la Durance, les ondes sont quelquefois assez hautes pour rappeller l'idée des vagues qui se brisent sur les rivages de la mer.

284. Le fond des rivieres restant le même, des changements subits dans la largeur de leur lit occasionnent nécessairement des variations à leur vîtesse. On a vu (§ 218) que, lorsqu'on barroit

et que la vîtesse de l'eau dans le canal sera plus grande, la dépense par l'orifice sera plus petite qu'elle ne le seroit si l'eau étoit en repos. Ainsi cette dépense est un mauvais moyen de juger de l'intensité de la pression.

Je ne m'arrêterai pas davantage sur cette matiere; il suffit d'avoir indiqué des distinctions essentielles, et d'avoir montré sur-tout que la proposition adoptée par M. de Buat, et dont il a fait un très grand usage, est inadmissible. Si elle étoit vraie, on parviendroit à détruire la pression dans des canaux horizontaux en y introduisant des volumes d'eau animés d'une vîtesse égale à celle que pourroit produire la hauteur des sections. Avec un mouvement horizontal, on détruiroit ainsi l'effet de la pesanteur : mais tout le monde voit que cela ne sauroit s'accorder ni avec les phénomenes, ni avec les principes de la méchanique.

(1) Les bateliers qui dirigent les *trailles* établies sur la Durance savent parfaitement bien que l'eau est

en partie un canal qui avoit une pente uniforme, l'eau prenoit, à peu de distance au-dessous de l'endroit qui avoit été barré, la même vîtesse et la même forme qu'elle avoit avant qu'on barrât le canal; on a vu encore qu'au-dessus de l'endroit qui avoit été barré, les eaux s'élevoient d'autant plus que l'ouverture qu'on avoit laissée étoit moindre; on a remarqué enfin qu'il y avoit une chûte à l'endroit même qui avoit été barré, c'est-à-dire que l'eau s'échappe de l'espece d'affouillement qu'on a formé avec des degrés de vîtesse qui vont en augmentant de la surface au fond (§ 220). Dans ce cas, quoique le fond soit sur la même direction au-dessus et au-dessous de l'endroit barré, il pourra y avoir une très grande différence entre le niveau des eaux supérieures et celui des inférieures.

Les effets que nous pouvons produire aisément sur des canaux, la nature les présente variés de mille manieres différentes sur les rivieres. Il n'en est aucune qui coule sur une pente uniforme et dans un lit régulier, qui n'offre des alternatives multipliées d'affouillements et de chûtes, et qui n'ait son lit quelquefois fort large et d'autres fois fort rétréci.

Toutes ces variétés sont plus ordinaires et plus apparentes vers l'origine des rivieres que dans les pentes plus voisines de leur embouchure. Là, les obstacles sont plus nombreux et les rochers plus multipliés: les eaux, trouvant dans leur cours tantôt des bassins

---

plus élevée dans l'endroit où se trouve le plus fort courant; aussi ils se gardent bien de disposer la corde sur laquelle le mât glisse, perpendiculairement au cours de la riviere: la barque ne marcheroit avec facilité qu'en se rendant au bord près duquel la vîtesse est moindre; elle descendroit alors réellement. Les bateliers, pour ne pas éprouver de difficulté en repassant la riviere, disposent la corde qui soutient la traille, de maniere que sa direction soit inclinée vers l'endroit où le plus fort courant est établi, au point que la surface de l'eau, sur l'espace que la barque doit parcourir, se trouve dans une situation horizontale. Ainsi (*figure* 48) le plus fort courant étant en A, on place la corde de maniere qu'elle forme, avec la direction du cours des eaux, un angle aigu MOS du côté où le plus fort courant est établi.

qu'elles ne peuvent combler, tantôt des résistances qu'elles ne peuvent vaincre, s'assujettissent complètement à suivre la route qui leur a été tracée par la nature; bien différentes alors de ce qu'elles sont lorsque, traversant des terres qu'elles ont formées, elles coulent d'une maniere uniforme dans un lit régulier.

Le P. Charlevoix, qui avoit suivi un très grand nombre de rivieres dans l'Amérique septentrionale, observe qu'elles présentent successivement des lacs et des *rapides*, lesquels, à proportion qu'ils répondent à des points où le lit des rivieres est plus rétréci, opposent de plus grands obstacles à la navigation, et l'interrompent même tout-à-fait.

En lisant les voyageurs qui ont essayé de remonter les rivieres d'Afrique et d'Amérique, on remarque qu'ils ont été souvent arrêtés par ces *rapides*, qu'il faut bien se garder de confondre avec les cataractes, ainsi qu'on le fait ordinairement (1). A ces dernieres, le fond du lit est interrompu, et devient subitement plus bas en aval qu'il ne l'étoit en amont, de maniere que les eaux, outre qu'elles obéissent complètement à la pression, obéissent aussi à la pesanteur dans tout l'intervalle qui sépare le lit supérieur de l'inférieur. Aux rapides il y a une accélération de la surface au fond; et si le défaut de pente ou les obstacles n'altéroient pas la vitesse que les eaux peuvent prendre à l'origine du rapide, il s'écouleroit autant d'eau par ce point que s'il y avoit réellement une cataracte. On sent combien il est difficile que les circonstances puissent permettre

(1) « Le flux et reflux de la mer ne « se fait pas sentir 60 lieues au-dessus « du golfe Triste et des bouches de « l'Orénoque à cause d'une effroyable « cataracte qui s'y trouve, et qu'on ne « passe qu'avec un danger infini; vis-« à-vis la bouche de la riviere *Méta* « est le torrent de *Carichana*, formé « par plusieurs isles de pierres vives « entourées de rochers, dont les uns « sont visibles et les autres cachés dans « l'eau, ce qui rend ce passage diffi-« cile et dangereux; à 12 lieues de là « on trouve le torrent de *Tabaje*, qui « n'est pas moins formidable: si bien « que, dans l'espace de 35 lieues en « remontant, l'Orénoque forme trois « cataractes qui interrompent absolu-

mettre que cet effet ait lieu complètement. Néanmoins, dans tous les points où le lit d'une riviere est subitement rétréci, on doit observer toujours une chûte plus ou moins grande à la surface; s'il y a des rochers au voisinage, les eaux pourront s'y briser avec un bruit plus ou moins grand, se couvrir d'écume, et montrer des apparences assez semblables à celles qu'offrent les cataractes. Il est inutile de dire que la chûte sera d'autant plus remarquable, que l'étendue de l'espace où le lit sera rétréci se trouvera moindre.

Lorsqu'on veut rendre navigables de petites rivieres, on est souvent dans le cas, pour diminuer leur rapidité, ou pour ménager leurs eaux, de barrer leur lit. On construit alors des sas d'écluse pour que les bateaux passent sans danger du lit supérieur au lit inférieur. Cette invention étoit inconnue aux anciens; elle étoit aussi ignorée des Chinois. Ceux-ci, dans les canaux nombreux qu'ils ont construits pour lier toutes les parties de leur vaste empire, ont été obligés souvent de barrer le lit de ces canaux pour en diminuer la pente : mais, pour faciliter le passage des barques, ils ont laissé des ouvertures à ces digues, et ils ont ainsi donné naissance à des *rapides* qui exigent des efforts énormes pour être remontés, et qui sont fort dangereux lorsqu'on veut les descendre.

On trouve, dans la relation du voyage de la Chine par les Jésuites que Louis XIV y envoya en 1685, que, « s'étant embarqués « sur un canal, ils furent obligés de passer entre deux digues de

---

« ment la navigation. On ne surmonte « ces torrents qu'avec beaucoup de « danger et qu'à force de travail : mais, « pour les trois autres torrents des Atu« rés, il est impossible de les surmon« ter, et l'on est obligé de transporter « les bateaux par terre; ce qui exige « beaucoup de temps et de travail ». *Histoire de l'Orénoque de Gumilla, tom. I, pag. 77.*

Il est évident que ces cataractes de l'Orénoque ne sont que des rapides, puisqu'on peut en remonter plusieurs. On sent aisément qu'à ces endroits la vitesse peut être telle qu'il soit impossible de les remonter, sans que pour cela le fond du lit soit interrompu. Le détroit du Pongo au Maragnon n'est qu'un rapide.

« maçonnerie où les eaux couloient avec tant de rapidité, que, si « ceux qui gouvernoient les bateaux les abandonnoient au courant, « rien au monde ne pouvoit les garantir d'être brisés en mille mor- « ceaux. »

Un éboulement subit de terres et de rochers dans le lit d'une riviere peut produire de très grands désastres, occasionner des changements très considérables à son cours, et former des rapides là où la vîtesse des eaux étoit parfaitement uniforme. On lit dans le P. Charlevoix qu'un tremblement de terre renversa une montagne dans le Sanegai, riviere très considérable qui se jette dans le fleuve Saint-Laurent, et que depuis lors la navigation sur cette riviere a été interrompue par un *rapide* qu'il est impossible de franchir.

SECTION VII.

Des tournants.

285. Lorsque les eaux courantes sont animées d'une vîtesse considérable, et qu'elles sont forcées par des obstacles à changer de direction, elles donnent souvent naissance à des tournants plus ou moins sensibles. Les eaux, en choquant l'obstacle, s'élevent: une partie suit alors la nouvelle direction; l'autre partie, après avoir perdu sa vîtesse, retombe, revient sur elle-même en suivant le contour de la rive aussi loin qu'elle peut conserver son niveau plus élevé que celui du courant principal, et finit par se confondre avec lui.

A l'endroit où le courant rétrograde, se mêle avec le courant principal et direct, il y a un choc qui occasionne des ondes plus ou moins élevées selon la rapidité des courants et leur direction.

Sur les petits ruisseaux, les corps légers, une fois entraînés dans les tournants, n'en sortent guere, parceque les ondes, qui se forment dans tout l'espace où les courants opposés tendent à se confondre, éloignent ces corps légers du courant principal. Les eaux des tournants se renouvellent ainsi continuellement, et y laissent les corps qu'elles y conduisent.

Les effets des tournants sur des ruisseaux sont très variés et très agréables lorsqu'on observe les corps légers qui y sont entraînés. Il n'est point d'enfant dont ils n'aient souvent fixé l'attention; mais sur les grandes rivieres ils font une impression bien différente, surtout lorsqu'on se représente des hommes sur les corps flottants qui y sont arrêtés. Je vais citer quelques exemples des dangers qu'ils courent alors.

« J'entrai dans le détroit d'Escurrébragas sur le Maragnon, dit « M. de la Condamine. Le fleuve, arrêté par une côte de rochers « fort escarpée qu'il heurte perpendiculairement, est obligé de se « détourner subitement en faisant un angle droit avec sa premiere « direction. Le choc des eaux, avec toute la vîtesse acquise par le « rétrécissement du canal, a creusé dans le roc une anse profonde, « où les eaux du fleuve sont retenues, écartées par la rapidité de « celles du milieu. Mon radeau, sur lequel j'étois alors, poussé « par le fil du courant dans cet enfoncement, fut entraîné par le « tourbillon qui s'y forme; et, n'ayant ni rame ni gouvernail, nous « ne faisions qu'y tournoyer. Les eaux, en circulant, ramenoient « à chaque tour la balse vers le milieu du lit de la riviere, où la « rencontre du grand courant formoit des vagues qui auroient in« failliblement submergé un canot. La grandeur et la solidité du « radeau le mettoient en sûreté à cet égard; mais j'étois toujours « repoussé par la violence du courant dans le fond de l'anse. Il y « avoit plus d'une heure que cette situation duroit, et le temps me « paroissoit bien long. Quatre de mes Indiens, qui avoient suivi « le bord terre à terre avec le canot, et qui avoient eu assez d'af« faire à se tirer du mauvais pas où celui de l'exprès avoit tourné la « veille, étoient de loin spectateurs de notre embarras. Après quel« ques tentatives que je leur fis faire pour nous remorquer avec le « canot, ils trouverent plus aisé de sauter à terre, et de gravir sur « le rocher presque taillé à pic, d'où ils me jetterent des lianes « avec lesquelles ils tirerent la balse hors du tourbillon, et le

« remirent enfin dans le fil de l'eau ». *Mémoires de l'Académie*, 1746, *page* 412.

« Il y a au milieu du Pongo, dans le plus étroit du passage, une « roche fort élevée quand les eaux sont basses, mais qui étoit plus « d'une toise sous l'eau quand j'y passai : elle ne laissoit pas de « causer aux eaux un mouvement extraordinaire qui fit tournoyer « mon radeau; il heurta aussi deux ou trois fois rudement dans les « détours contre les rochers. Il y auroit de quoi s'effrayer si on « n'étoit pas prévenu; un canot s'y briseroit mille fois et sans res- « source, et on me montra, en passant, le lieu où périt un gouver- « neur de Maynas : mais les pieces du radeau n'étant ni clouées ni « enchevêtrées, la flexibilité des lianes qui les assemblent fait l'ef- « fet d'un ressort qui amortiroit le coup, et on ne prend aucune « précaution contre les chocs à l'égard des balses. Le plus grand « danger qu'on y court est d'être emporté dans un tournant d'eau « hors du courant, comme il m'étoit arrivé plus haut. Il n'y avoit « pas un an qu'un missionnaire, qui y fut entraîné, y resta deux « jours sans provision, et y seroit mort de faim si une crue subite « ne l'eût enfin remis dans le fil de l'eau ». *Idem, pag.* 416.

« Au confluent de l'Apure et de l'Orénoque, le choc de ces deux « rivieres est très violent; il s'y forme des tournants affreux, que « les voyageurs ont soin d'éviter, qui ont occasionné plusieurs nau- « frages, et où j'ai pensé plusieurs fois perdre la vie. Ils attirent les « bateaux de fort loin avec tant de violence, que, quoique dans « mon dernier voyage je fusse dans un très bon bateau, et que le « vent nous favorisât, un de ces tournants attira le bateau à lui, « quoique nous forçassions de voiles, et lui fit faire deux pirouettes : « ce qui pensa nous faire périr les deux fois qu'il présenta la proue « au vent ». *Histoire de l'Orénoque, tom. I, pag.* 58.

SECTION VIII.

Des cataractes.

286. Un changement de niveau subit et considérable dans le lit d'une riviere occasionne une cataracte. Il y a un grand nombre de rivieres dont le cours est ainsi interrompu ; mais ces accidents sont sur-tout ordinaires aux torrents qui coulent sur des pays montagneux, et qui trouvent sur leur direction des rochers taillés à pic, ou du moins fort escarpés : les eaux tombent alors librement ; et à proportion qu'elles sont moins abondantes, et que la hauteur du point où elles tombent est plus grande, elles se chargent plus sensiblement de l'air qu'elles traversent, et elles se divisent même quelquefois entièrement en une poussiere blanchâtre.

L'effet le plus ordinaire des cataractes est de former un affouillement à l'endroit où les eaux tombent. Il ne faudroit pas s'imaginer qu'elles coulent ensuite avec la vîtesse qu'elles ont acquise dans leur chûte ; les mouvements variés dont elles sont animées sont occasionnés en grande partie par l'air que contiennent les eaux affluentes, et qui est introduit par elles dans les eaux qui remplissent l'affouillement. Ces bulles d'air se compriment davantage à proportion qu'elles sont entraînées à une plus grande profondeur ; mais dès que la vîtesse qui les animoit est détruite, elles s'élevent rapidement à la surface en augmentant jusqu'alors de volume, et là elles éclatent en produisant de gros bouillonnements.

Il seroit trop long de faire connoître les torrents et les rivieres sur le cours desquels il y a des cataractes ; je me bornerai à donner la description de celles de Pissevache et du Rhin.

« Je n'étois plus qu'à trois lieues de la fameuse cascade de Pisse-
« vache, et je n'étois pas venu si près pour reculer une seconde fois ;
« je me décidai donc à partir. Je ne tardai pas de joindre les bords
« du fleuve ; et, les montagnes se rapprochant toujours davantage,
« je trouvai enfin le fameux pont formé d'une arche unique sous

« laquelle le Rhône passe. Je reconnus tout de suite que les Coxe, « les D. L. en avoient exagéré les dimensions : je ne comptai que 30 « pas d'une pile à l'autre, qui équivalent à 75 pieds; son élévation « sous la clef n'est que de 50 pieds. Le Rhône étoit alors de 5 à 6 « pieds plus bas qu'en été; du reste, ce fleuve n'écumoit pas de « colere de se voir réduit à couler par un passage aussi étroit, il « s'échappoit très tranquillement et sans bruit. Sa vîtesse n'étoit pas « considérable, parceque, n'ayant plus que quatre lieues de cours « pour arriver au lac, il ne lui restoit qu'une pente légere; on dit « d'ailleurs qu'il est très profond sous le pont. Ses eaux étoient très « claires, et il ne paroissoit être entretenu alors que par des sour- « ces.

« A un bon quart de lieue de la cascade on commence à la voir « et à l'entendre : on desire alors d'en être bien près. Il faut la voir « en face ou par un des côtés, et être placé au vent. C'est la pre- « miere belle chose que j'ai trouvé n'avoir pas été exagérée. L'effet « de cette cascade est extrêmement frappant, parcequ'elle est bien « nourrie, au lieu que presque toutes les autres sont comme mes- « quines, eu égard à leur grande élévation. En abandonnant le ro- « cher, l'eau paroît s'élancer, et forme un bel arc sous lequel on « passeroit sans se mouiller, si on pouvoit y atteindre : mais le ro- « cher est inabordable, il est taillé à pic, et a bien les 200 pieds « qu'on lui donne. Après cette cascade, ce n'est plus qu'éboule- « ment de rochers de toute grandeur qui présentent l'image de la « destruction et du bouleversement ». *Lettres manuscrites de M. Piston sur les Alpes.*

« J'ai vu au-dessous du village de Neuhausen (dans le canton « de Schaffhousen) la grande cataracte du Rhin. Plusieurs plumes « se sont déja exercées à la décrire; mais qui pourroit en tracer un « assez digne tableau! Quel aspect imposant que ces masses écar- « tées de rochers qui, entravant le lit du Rhin rapide, partagent « ses flots, qui les couvrent d'écume! Elles présentent au-dessous « du château de Lauffen une muraille de roc que des écrivains ont

« portée à 70 pieds d'élévation, et même au-delà; cependant cette « muraille, ou plutôt la chûte d'eau qu'elle occasionne, ne peut « avoir aujourd'hui plus de 40 pieds de hauteur. On n'y voit plus les « sapins qui pouvoient y être du temps du voyageur Keyssler. Cette « solide muraille est surmontée de trois ou quatre pointes de ro- « chers singulièrement taillés comme autant de tours. C'est d'en- « tre ces rochers que le fleuve se précipite avec un fracas horrible; « il est dans ce moment presque entièrement réduit en écume, à « l'exception de quelques ondulations verdâtres qui semblent en- « core serpenter. Le fleuve reprend son élan du fond où il s'est pré- « cipité, et jette à une hauteur considérable des flots qui se croisent « et s'entre-choquent: une partie de ces flots, réduite en poussiere « et en vapeurs, s'élance jusqu'aux nues, et se répand dans un tel « espace, que tout ce district est sans cesse rempli de pluie et de « brouillard. Voilà sans doute un spectacle à la fois magnifique et « terrible: mais celui dont on est frappé sur la côte du canton de « Zurich, au pied du château de Lauffen, est encore plus effrayant, « pour ne pas dire tout-à-fait affreux; je parle de l'endroit où je me « fis passer dans un bateau avec ma compagnie, et où l'on peut « contempler de bas en haut, et presque dans la proximité d'un « pas, la chûte d'un fleuve. Ici l'ame est à la fois saisie d'admiration « et de frémissement; il nous sembloit que le rivage trembloit sous « nos pieds par le mouvement furieux des eaux de ce fleuve. Quel « mortel, en ce moment, pourroit ne pas se sentir entièrement « agité! » *Tableaux pittoresques, etc. de la Suisse, page* 89.

SECTION IX.

De la direction et de la vîtesse des fleuves à leur confluent.

287. On donne le nom de confluent au point où deux rivieres différentes se réunissent. Mais en rappellant ce que nous avons dit au sujet de la réunion de différents canaux de même hauteur (§ 200), et la remarque que nous avons faite relativement à la

diversité des vîtesses sur la même section d'un fleuve, on voit que rien n'empêche de considérer une riviere, dans quelque point que l'on veuille choisir son cours, comme formée de l'union actuelle de plusieurs rivieres qui ont même direction et des vîtesses différentes. Il est aussi fort ordinaire que des atterrissements peu éloignés divisent un fleuve en différents bras, et que ces bras se confondent ensuite : leur réunion est encore un vrai confluent.

288. Les effets qui ont lieu au point où deux rivieres se réunissent, peuvent varier à l'infini; et il est impossible de déterminer avec quelque exactitude, ni leur direction, ni leur vîtesse, ni leur pente, ni leur largeur, ni leur profondeur.

Soient O et P (*figure* 49) deux rivieres qui se réunissent au point A. 1°. Les masses et les vîtesses peuvent être égales; mais ce cas peut avoir lieu d'une infinité de manieres différentes, puisqu'il n'y a point de rapport déterminé entre la hauteur d'une riviere et sa largeur. 2°. Les vîtesses peuvent être égales et les masses inégales; ce cas peut se subdiviser en une infinité d'autres, selon la proportion des hauteurs et des largeurs. 3°. Les vîtesses et les masses peuvent être inégales; ce cas peut se subdiviser encore en une infinité d'autres. 4°. Chaque riviere est toujours formée d'une infinité de courants différents, et la vîtesse de ces courants varie à chaque instant au temps des crues. 5°. La situation du sol sur lequel les eaux coulent, la résistance qu'il peut opposer à leurs efforts, l'affluence plus ou moins subite des eaux au temps des crues, influent beaucoup sur la forme du lit des fleuves. Or toutes ces causes sont indépendantes les unes des autres, et peuvent varier à l'infini.

289. Ces détails, qu'on pourroit étendre davantage, suffisent pour démontrer l'impossibilité d'embrasser dans une solution les effets qui peuvent résulter de l'union de deux rivieres. Je sais qu'on peut, ainsi que l'a fait M. Pitot (Mémoires de l'Académie, 1738), supposer aux fleuves P et O des masses, des directions et des vîtesses déterminées, et conclure de ces suppositions, en considérant les eaux comme des corps durs, la vîtesse et la direction qu'elles auront après s'être réunies.

290.

290. Mais quand même les eaux de chaque fleuve auroient une vîtesse unique, que la pente seroit constante, et que la largeur du lit au-dessous du confluent seroit égale à la somme des largeurs des deux fleuves, la question renfermeroit encore des difficultés insurmontables. En effet, imaginons à l'angle du confluent une vanne AB parfaitement mobile autour du point A, et que les deux rivieres O et P, avec des hauteurs, des largeurs, des directions et des vîtesses déterminées, vinssent frapper contre cette vanne. En adoptant la théorie ordinaire du choc de l'eau, on connoîtroit facilement la direction que prendroit la vanne, c'est-à-dire la direction moyenne des eaux.

Mais on se tromperoit grossièrement, si l'on croyoit que l'eau frappât continuellement contre la vanne de la même maniere que lorsque son cours commence à s'établir. Ce seroit encore une erreur très grave de penser que toute la masse de chaque fleuve contribuât à déterminer la direction de la vanne. En effet, l'eau qui auroit frappé la vanne à son origine continueroit sa route en conservant à très peu près la même vîtesse, et suivroit la vanne au lieu de la choquer; les filets d'eau, en arrivant en D, au lieu de suivre la direction DC, suivroient la direction DS. On sait avec quelle facilité l'eau coule dans des directions différentes avec la même vîtesse, pourvu qu'on lui offre la même pente.

Il est évident aussi que la direction de la vanne n'est point déterminée par la masse du fleuve; elle l'est seulement par la hauteur de l'eau et par sa vîtesse. Ainsi le fleuve P pourra être deux, trois, quatre fois, etc. plus grand qu'il n'est, pourvu que ses eaux aient la même élévation et la même vîtesse, sans que la direction de la vanne change.

Il n'est pas douteux que la vanne ne fût poussée davantage du côté où la force de l'eau seroit moins considérable. Mais alors l'état de la question ne seroit plus le même; l'eau, qui couloit dans la petite riviere avec liberté jusqu'au confluent, cesseroit de pouvoir couler: elle reflueroit donc; et si la vanne étoit suffisamment haute,

le fluide pourroit s'élever de maniere que la plus grande pression que la petite riviere exerceroit contre la vanne compensât l'effet de la plus grande vîtesse de l'autre riviere.

291. En supprimant la vanne, la solution de la question est bien autrement compliquée. L'eau qui frappe un corps solide exerce contre lui tout l'effet ou la force dont elle est capable: mais une masse d'eau qui frappe une autre masse d'eau n'agit pas de la même façon. On sait que ce fluide coule avec la plus grande facilité *dans lui-même:* on est souvent dans le cas de se convaincre de cette vérité. Toutes les fois qu'on verse d'un peu haut du vin dans un verre presque rempli d'eau, on voit la liqueur colorée descendre jusqu'au fond du verre en s'ouvrant un passage à travers l'eau, comme le feroit un corps solide qu'on y plongeroit. Lorsqu'un courant un peu rapide entre dans des eaux dormantes, il s'ouvre un passage à travers ces eaux, et ne leur fait pas partager sa vîtesse. Combien n'y a-t-il pas de fleuves qui conservent leurs eaux douces et sans mélange après être entrées bien avant dans la mer!

292. Ainsi il est constant que, si deux ruisseaux, deux rivieres ou deux fleuves se confondent, l'eau la plus rapide aura proportionnellement beaucoup plus de facilité à suivre sa premiere direction : celle dont le cours est plus lent se trouvera alors barrée plus ou moins complètement, selon que la différence des vîtesses est plus ou moins grande; elle sera forcée de refluer (1) plus ou moins sensiblement, et elle s'échappera ou au-dessus du niveau du courant le plus fort, ou dans la direction même du lit commun dont elle occupera cependant un espace d'autant plus petit, que la lar-

(1) « Je suivis la longue et belle « chaussée, élevée depuis peu de « temps sur les bords du Rhône, pour « aller voir le confluent de ce fleuve « avec la Saône. Les eaux du Rhône « étoient élevées de 10 pieds au-dessus « de leur état ordinaire. Elles étoient « d'abord entrées dans le lit de la Saône, « avoient, pour ainsi dire, barré cette « riviere, et, l'ayant forcée d'élever

geur qu'il a au-dessous du confluent differe moins de la largeur de la riviere plus rapide au-dessus du confluent.

J'ai rapporté déja qu'un torrent qui traverse la petite ville de Sirkes, et qui se perd ensuite dans la Moselle, éprouva une crue si abondante, qu'après avoir rasé ou renversé un fort grand nombre de maisons, il en transporta les décombres jusques sur le bord opposé de cette riviere dont le cours fut quelque temps suspendu.

J'ai vu souvent des torrents porter leurs eaux et laisser des dépôts jusques sur le bord opposé des rivieres où ils entroient.

« L'Apure va se décharger dans l'Orénoque: mais auparavant il « se divise en trois branches si abondantes et si rapides, qu'il pa- « roît vouloir engloutir l'Orénoque; ce que ne lui permet pas le « contrepoids immense des eaux de ce dernier. Mais le choc de ces « deux rivieres est si violent, que l'Orénoque, qui a presque une « lieue de largeur dans cet endroit, se resserre de plus d'un quart; « tant est grande la rapidité d'une seule de ces trois embouchures « de l'Apure ». *Histoire de l'Orénoque, tom. I, pag.* 58.

« Nous arrivâmes à l'embouchure du Missouri, laquelle est « NNE et SSE. Je crois que c'est le plus beau confluent qu'on voie « dans le monde. Les deux rivieres sont à peu près de la même lar- « geur, chacune environ d'une demi-lieue: mais le Missouri est « beaucoup plus rapide, et il paroît entrer en conquérant dans le « Mississipi, au travers duquel il porte ses eaux blanches jusqu'à « l'autre bord sans les mêler; il lui communique ensuite cette cou- « leur, que le Mississipi ne perd plus, et il l'entraîne avec préci- « pitation jusqu'à la mer ». *Charlevoix, tom. III, pag.* 392.

« Dans le temps de l'inondation, le Mississipi conserve sa dou-

---

« son niveau, avoient occasionné une « inondation dans les travaux *Perra-* « *ches*. J'avois ainsi, d'un côté, un « fleuve qui couloit avec une impé- « tuosité étonnante, et, de l'autre, une « petite mer tranquille d'où on voyoit « sortir quelques arbres et quelques « habitations comme autant d'isles ». *Lettre manuscrite de M. Piston sur la crue du Rhône du 6 janvier* 1783.

« cœur une bonne lieue dans la mer ». *Charlevoix, tom. III, pag.* 442.

293. Lorsque deux rivieres se réunissent, leurs eaux se confondent d'autant plutôt qu'elles sont moins abondantes, qu'il y a plus de différence dans leur vîtesse, et qu'elles se rencontrent sous un angle plus grand.

« Rio-Negro entre si parallèlement dans l'Amazone, que, sans « la transparence de ses eaux qui la fait nommer riviere noire, on « la prendroit pour un bras de l'Amazone séparé par une isle. « Aussi ses eaux ne perdent guere leur transparence, en se mêlant « avec les eaux blanchâtres et troubles de l'Amazone, qu'à 15 « lieues marines de 20 au degré au-dessous du confluent, à peu de « distance de l'embouchure de la Madere ». *M. de la Condamine, Mém. de l'Acad. année* 1745, *pag.* 448, 455.

« Je vis la jonction du Rhône avec l'Arve. Cette riviere est plus « considérable et plus rapide que la Durance; cependant ses eaux « troubles ne pénétroient pas jusqu'au milieu du lit du Rhône, et « laissoient à celles de ce fleuve leur belle couleur et leur transpa- « rence. Ce contraste, apperçu d'un endroit élevé, offroit un spec- « tacle assez singulier ». (*Lettre manuscrite de M. Piston sur les Alpes.*) M. Pitot a fait une observation semblable au confluent du Rhône et de la Durance.

294. La direction d'une riviere, au point où elle se confond dans une riviere plus considérable, est presque toujours déterminée par la situation et la nature du sol sur lequel elle coule. Les arbres et les autres matieres qu'elle peut charier, en formant des dépôts en des endroits différents, contribuent aussi à faire varier cette direction. Il y a beaucoup de rivieres qui se divisent en plusieurs bras avant de perdre leur nom, et ces bras suivent des directions différentes. D'autres fois des rivieres qui couloient dans des lits différents se réunissent en un seul au voisinage de leur confluent. L'angle qu'elles forment en se réunissant ne dépend guere ni du volume ni de la rapidité des eaux. Cet angle est assez ordi-

nairement aigu ; mais il arrive qu'il est obtus, et il n'est pas rare qu'il soit droit. Ceux qui n'ont pas voyagé peuvent voir combien ces accidents sont variés pour des rivieres de même force, en consultant des cartes bien faites.

Au confluent de deux rivieres dont l'une a plus de rapidité que l'autre, on remarque que le niveau des eaux dont le cours est plus lent a plus d'élévation. Cet effet est d'autant plus marqué, que la différence des vitesses est plus grande. Il est sensible au confluent du Rhône et de la Saône, à celui du Rhône et de la Durance, etc. au point qu'il est observé même par les personnes du peuple. Le physicien qui n'auroit pu s'assurer par lui-même de ce fait l'auroit cependant aisément prévu après avoir examiné l'union des eaux dans des canaux ordinaires ; il y auroit puisé des motifs pour ne pas admettre une explication que M. de Buffon a donnée d'un phénomene, et que j'ai contredite (§ 283).

SECTION X.

De l'établissement du lit des fleuves.

295. La maniere dont les fleuves établissent leur lit est la partie la plus intéressante de leur théorie ; elle a été l'écueil des auteurs qui se sont exercés sur ce sujet. Guidés par les observations qu'ils ont eux-mêmes fournies, devenus défiants par les contradictions dans lesquelles ils sont tombés, indiquons la source de leurs erreurs, et essayons de faire connoître la cause qui produit des phénomenes en apparence si contraires.

Nos sens nous trompent continuellement, et, dans l'étude de la physique, nous devons être en garde contre leur témoignage à proportion que les effets que nous observons sont plus grands et plus au-dessus des limites de nos forces. Après le spectacle qu'offre un volcan enflammé, celui que les fleuves présentent est le plus important pour l'homme. Les eaux qu'ils rassemblent forment une masse énorme continuellement renouvellée qu'un mouvement

rapide entraîne sans interruption des points les plus élevés de la terre jusqu'à la mer qui les engloutit.

Après des pluies ou des fontes de neige considérables, les fleuves reçoivent dans leur lit des eaux plus abondantes, et leur rapidité augmente avec leur volume. Le limon et le sable qui troublent alors leur transparence servent à voiler l'action qu'elles exercent contre le fond, et donnent lieu de juger de la violence de cette action par la rapidité que les eaux présentent à leur superficie. On est ainsi conduit par les apparences à faire dépendre le déplacement et le transport du gravier de la vîtesse et de l'élévation des eaux. Le philosophe a jugé ici comme le peuple. C'est pourtant là une erreur très grave, et qui a été la source de l'imperfection des théories qu'on a publiées jusqu'à présent sur la maniere dont les fleuves établissent leur lit.

296. Les cailloux, en entrant immédiatement dans le lit des torrents ou des fleuves, sont ordinairement irréguliers; on voit ensuite ces matieres diminuer insensiblement de masse, prendre une forme plus arrondie à mesure qu'elles parviennent à une plus grande distance des lieux où elles ont commencé de rouler, et paroître offrir de cette maniere une résistance toujours plus foible à l'impulsion des eaux: mais il est constant que, malgré les facilités qu'elles acquierent pour être transportées, elles s'arrêtent à une distance de la mer d'autant plus considérable, que le cours des fleuves a été plus long.

De tous les dépôts que forment les fleuves, il n'en est pas qui contribuent davantage à déranger leur cours que les graviers. Il est donc de la plus grande importance de connoître comment ils sont chariés, et quels sont les lieux qui, par leur position, contribuent le plus à favoriser les amas de ces matieres; car on sait qu'une fois qu'elles se sont accumulées, elles forment des barrieres que les eaux ne peuvent pas vaincre facilement, et qui les forcent ordinairement de changer de cours.

297. Le célebre Guglielmini ne vit dans un fleuve que des eaux

qui, roulant sur un plan incliné depuis leur origine jusqu'à la mer, et éprouvant par leur réunion successive des obstacles toujours moindres, avoient, en augmentant de profondeur, un mouvement moyen toujours plus rapide et plus accéléré jusqu'à leur disparition. Il ne pouvoit douter que les cailloux ne prissent leur forme arrondie en frottant les uns contre les autres, ou sur le fond du lit des rivieres : mais le poli de leur surface ne pouvoit être que le résultat de collisions violentes. Dans les lieux où ils n'avoient encore éprouvé que l'action de masses d'eau peu considérables, ils étoient fort gros et si irréguliers, que leurs angles étoient à peine émoussés; ils acquéroient ensuite une forme arrondie aux dépens de leur masse, et ils continuoient de diminuer de grandeur à mesure que la force des eaux courantes augmentoit, et qu'ils étoient exposés à leur action pendant un plus long espace. Enfin les eaux, parvenues au dernier terme d'accélération, couloient sur le sable, et n'entraînoient rien autre jusqu'à la mer. Mais ces sables n'étoient que les débris (1) des graviers que l'impétuosité des eaux avoit détruits par les chocs violents qu'elle leur avoit fait éprouver.

Guglielmini avoit raison d'admettre la dégradation successive des cailloux : il se trompoit en la croyant aussi rapide. Mais, comme il supposoit aux eaux une vîtesse toujours plus grande à mesure qu'elles étoient plus profondes, il employoit réellement une cause assez puissante pour produire les effets qu'il annonçoit; et du moins son erreur fut celle d'un homme conséquent.

298. Il y a sans doute des cailloux qui se détruisent aisément

(1) M. Guettard paroît avoir adopté le sentiment de Guglielmini au sujet de la décomposition des graviers. Voici comment s'exprime ce célebre naturaliste dans ses observations, *tom. III*, *pag.* 356:

« J'ai traversé plus d'une fois en dif-« férents endroits le Danube, et il m'a « paru que ce fleuve, et plusieurs des « rivieres qui se jettent dedans, entraî-« noient dans leurs eaux beaucoup de « pierres qui, étant broyées à la lon-« gue, doivent former beaucoup de « sables à l'embouchure du Danube.

« Le Pô et l'Adige roulent une « quantité de cailloux très propres à « former des sables par leur destruc-« tion. »

dans le lit des rivieres et des torrents. Les montagnes de la haute Provence sont principalement formées de pierres marneuses disposées par couches. Ces pierres, quoique saines en apparence lorsqu'on les tire de la carriere, se réduisent d'abord en éclat lorsqu'on les fait rouler, et l'humidité de l'air suffit pour les décomposer : il n'est donc pas étonnant qu'elles soient bientôt détruites dans le lit des torrents et des rivieres; elles sont réduites en limon avant qu'elles aient pu être transportées loin des lieux où elles ont commencé à rouler.

Tous les naturalistes qui ont eu occasion de parcourir des montagnes graniteuses et schisteuses, ont remarqué des bancs plus ou moins étendus de ces sortes de pierres qui se décomposent aisément. Ainsi des granits ou des schistes tendres se détruisent bientôt s'ils se trouvent exposés, sur-tout sur des pentes considérables, à l'action impétueuse des eaux.

Mais des fragments de quartz et de granit sains, de pierres calcaires dures, de marbres, etc. se trouvent aussi sur le cours des eaux. Elles parviennent bien à les arrondir et à polir leur surface, mais non pas à les détruire rapidement. Il étoit aisé sans doute de faire connoître l'erreur de Guglielmini; il suffisoit de prouver que l'action qu'il attribuoit aux eaux étoit imaginaire, et il étoit inutile alors de faire des expériences pour s'assurer que le volume de la plupart des cailloux qu'on trouve dans le lit des rivieres ne pouvoit diminuer que fort lentement et fort difficilement.

299. Quand même la dégradation des cailloux seroit rapide, comme on observe, quelle que soit leur grandeur, que leur surface est toujours unie, les parcelles qui pourroient s'en détacher toutes les fois qu'ils seroient mis en mouvement seroient constamment fort fines. On ne détache du marbre, lorsqu'on est sur le point de lui donner le dernier poli, qu'une poussiere légere. Cette considération est plus que suffisante pour prouver que les sables qu'on trouve dans le lit des fleuves, et dont la surface est tout anguleuse et irréguliere, ne sont pas des débris de cailloux.

300.

300. Les lithographes regardent les terres et les pierres de même espece comme des substances qui ont les mêmes propriétés chymiques, et qui ne different que par leur volume. En effet, on forme des terres en broyant des pierres. Leur pesanteur spécifique est plus grande que celle de l'eau; mais à proportion que les molécules pierreuses sont réduites à un plus petit volume, leur surface devient plus grande comparativement à leur masse: elles sont ainsi susceptibles d'obéir plus aisément à l'action des eaux courantes, et de rester suspendues au milieu d'elles.

Plus les terres sont réduites en parties fines, et moins il faut de vîtesse à l'eau pour les soutenir. Lorsqu'il pleut un peu abondamment sur des champs cultivés, on voit tout de suite ruisseler des eaux fort colorées. Le même effet a lieu sur les montagnes incultes, sur-tout lorsqu'il s'y trouve des bancs de sable ou de marne, et, en général, des terres qui se décomposent aisément.

301. Lorsque les petites rivieres cessent d'être grossies par les pluies, et lorsqu'elles ne sont plus entretenues que par des sources, leurs eaux sont limpides: mais tous les fleuves qui éprouvent fréquemment des crues subites, soit qu'elles soient occasionnées par des fontes de neige ou par des pluies, ont leurs eaux toujours troubles.

Cependant, comme les grands fleuves coulent ordinairement sur une pente toujours moindre et avec une vîtesse plus petite à mesure qu'ils approchent de leur embouchure, comme ils sont formés de rivieres différentes, et comme ces rivieres ne grossissent pas toutes dans le même temps, il est sensible que les eaux des fleuves doivent être toujours moins chargées de matieres étrangeres à proportion qu'on les observe à une plus grande distance de leur origine, et dans des temps plus éloignés des grandes inondations.

302. La couleur que prennent les eaux des rivieres dépend essentiellement de celle des terrains sur lesquels elles coulent, et des crues plus ou moins subites, plus ou moins fréquentes, qu'elles éprouvent. Les voyageurs ont désigné souvent les rivieres par la

couleur de leurs eaux; et lorsqu'ils leur ont donné des noms particuliers, ils ont presque toujours fait mention de la maniere dont elles étoient colorées, pour peu que cet accident fût remarquable. Nous allons citer quelques exemples.

« On entra le lendemain dans la grande riviere Jaune, qu'on « nomme aussi la riviere de safran, et dont les eaux sont si bour« beuses et si épaisses, qu'il est difficile de la traverser. On la « prendroit dans l'éloignement pour un terrain marécageux ». *Histoire des Voyages, tom. V, pag.* 258.

« Deux rivieres au nord du Sénégal, après un cours de 60 lieues, « vont se perdre dans le grand lac de Kasson. La plus méridionale « se nomme la riviere Noire, de la couleur sombre de ses eaux; « l'autre porte le nom de riviere Blanche, parceque la terre blan« châtre où elle passe lui fait prendre cette couleur ». *Histoire des Voyages, tom. II, pag.* 530.

« Le Missouri porte ses eaux blanches dans le Mississipi; il lui « communique cette couleur, qu'il ne perd plus jusqu'à la mer ». *Charlevoix, tom. III, pag.* 392.

« Il y a près de Sion une riviere qui passe dans des couches de « terre glaise et marneuse, qui est blanche comme du lait, et qui « donne une fertilité prodigieuse aux terres qu'elle arrose ». *Voyage aux glacieres de Savoie, pag.* 120.

« On voit sur les Alpes des torrents dont les eaux sont noires, « et qui sont ainsi colorés par les ardoises sur lesquelles ils passent « et qu'ils décomposent ». *Ibid. pag.* 166.

Il faut que la Durance soit bien basse pour que ses eaux soient limpides: elles sont ordinairement noires, et elles sont ainsi colorées par les marnes qui sont si abondantes dans les montagnes de la haute Provence et du Dauphiné.

Lorsqu'une riviere en reçoit d'autres qui traversent des terres de nature et de couleur différentes, ses eaux n'ont pas la même couleur toutes les fois qu'elles s'élevent également. Cet accident peut varier beaucoup, et il sert souvent à faire connoître les lieux où les pluies ont été plus abondantes.

303. Tous les grands fleuves dont le cours n'est pas interrompu par des lacs portent jusqu'à leur embouchure des eaux qui sont toujours plus ou moins troubles; une fois qu'elles ont perdu leur limpidité, elles ne sauroient la reprendre, parcequ'elles conservent toujours assez de mouvement pour soutenir les parties terreuses les plus fines.

304. Mais s'il se présente sur leur route des bassins fort étendus creusés par la nature, et dans lesquels ils puissent perdre leur vitesse, ils laisseront échapper au fond les dépouilles des montagnes, et, en reprenant leur cours, ils présenteront d'abord des eaux limpides. Les eaux du Rhône sont souvent fort troubles en entrant dans le lac de Geneve, et elles sont toujours fort pures lorsqu'elles en sortent. L'Amérique septentrionale offre plusieurs rivieres fort considérables dont les eaux sont toujours transparentes; mais cela n'arrive que parcequ'elles traversent des lacs où elles peuvent se purifier. En lisant dans M. de la Condamine que la riviere Noire est assez puissante pour repousser le Maragnon, et pour conserver, même après s'être jointe à ce fleuve, ses eaux claires et crystallines dans l'espace de 12 ou 15 lieues marines, on concluroit tout de suite que cette riviere traverse des lacs, quand même M. de la Condamine n'auroit pas dit que, *lorsqu'on l'a remontée pendant quinze jours, trois semaines et plus, on la trouve encore plus large qu'à son embouchure, à cause du grand nombre d'isles et de lacs qu'elle forme*. Il est impossible, en effet, que des amas énormes d'eaux courantes soient entretenus par des pluies ou des fontes de neige considérables sans rester chargées, tant que leur mouvement est entretenu, des molécules les plus légeres des terres qui ont été exposées à leur action. Si ces eaux paroissent transparentes, cet effet ne peut avoir lieu que parcequ'elles ont pu devenir bien tranquilles dans quelque partie de leur cours.

305. Il est indubitable que les fleuves charient jusqu'à leur embouchure une quantité immense de limon et de sable : ces dépôts enlevés aux montagnes viennent former continuellement à la

mer de nouveaux bords, et reculent ainsi ses limites. Mais le sable et le limon ne sont pas les seules matieres qui se trouvent dans le lit des rivieres. Dès que les pierres n'ont pas assez de surface relativement à leur masse pour pouvoir être soutenues au milieu des eaux, elles sont dans le cas de perdre la forme irréguliere qui distingue les sables; elles frottent contre le fond; leurs angles s'émoussent, et elles prennent une forme arrondie. On leur donne le nom de graviers, et on en voit ordinairement de toutes grandeurs dans les mêmes parties du lit d'un fleuve.

Il est certain que les cailloux, en roulant pendant plus de temps, diminuent toujours plus de volume : mais on ne doit pas regarder tous ceux qui sont petits, et qui forment sans comparaison le plus grand nombre, comme des restes de cailloux beaucoup plus grands; il faudroit pour cela que la décomposition de ceux-ci fût rapide. En général, ce sont les petites pierres qui entrent dans le lit des rivieres, qui forment les petits cailloux.

On peut faire, relativement aux cailloux roulés qu'on trouve dans le lit des rivieres, un grand nombre de questions. Nous allons proposer celles qui sont les plus propres à nous éclairer sur la maniere dont les eaux agissent sur eux.

306. Question I. Quelle est, en général, la nature des atterrissements que forment les rivieres?

On sait que les montagnes, tant les secondaires que les primitives, sont formées en partie de rochers en masse, mais que leur surface est ordinairement couverte de terres plus ou moins profondes, mêlées plus ou moins abondamment avec des pierres de différentes grandeurs.

On sait encore que les terres et les pierres sont assez généralement de même espece sur la même montagne, c'est-à-dire qu'elles sont sablonneuses dans les pays graniteux, argilleuses dans les pays schisteux, enfin calcaires et marneuses dans les contrées où la pierre à chaux abonde.

Les rivieres qui coulent dans les pays graniteux ne charient

guere que du granit et du sable quartzeux. On ne trouve guere que des pierres et des sables calcaires dans les pays de pierres à chaux. En général, les dépôts que forment les eaux sont de même espece que les terres par où elles passent. Si une riviere traverse successivement des montagnes de différente espece, on trouvera dans son lit des échantillons de toutes les especes de pierres qui se sont trouvées sur son cours.

307. QUESTION II. Parmi les montagnes secondaires, ne s'en trouve-t-il pas qui renferment des bancs étendus de cailloux roulés? n'en voit-on pas même qui en sont entièrement formées?

Depuis que les naturalistes ont étudié la terre avec attention, on sait qu'il y a des contrées étendues qui ne sont point traversées par des rivieres où le sol est cependant couvert de cailloux roulés. Comme ces cailloux sont souvent d'une nature différente de celle des pierres dont sont formées les montagnes voisines; comme les schistes, les granits, les pierres de corne, les ollaires, les marbres, etc. s'y trouvent confondus; comme ces matieres ont appartenu primitivement à des rochers d'espece différente, et probablement fort éloignés les uns des autres; comme aucune cause physique dans l'état actuel du globe ne peut les produire ni les rassembler; comme elles sont disposées par lits, ainsi que les terres et les rochers des montagnes secondaires; comme elles forment elles-mêmes souvent des montagnes à couches, et comme elles contiennent quelquefois, dans des étendues de pays considérables, entre leurs lits des débris infiniment multipliés de corps (1) marins, on doit les regarder comme ayant une existence antérieure au temps où les fleuves couloient sur la partie du globe où elles se trouvent répandues.

Ainsi, si on observe dans le lit d'une riviere des amas considérables de cailloux roulés, on ne doit pas conclure tout de suite que c'est cette riviere qui les a chariés, et que c'est dans son lit qu'ils

(1) Histoire naturelle des minéraux, tom. I, pag. 331. Observations sur la Durance, dans le journal de physique, année 1783.

ont été formés. On pourra souvent connoître aisément ce qu'on doit penser sur cet objet. Si, en examinant la nature de ces cailloux, on les trouve de même espece que les rochers qui composent les montagnes voisines, si on n'en rencontre pas hors du lit de cette riviere, on ne pourra guere douter alors qu'ils n'y aient pris leur forme; mais si, dans une contrée où les montagnes sont calcaires, le lit d'une riviere montre abondamment des granits, si j'observe sur-tout des plaines étendues et même des collines formées en tout ou en partie de cailloux roulés, je me garderai bien alors de croire que ceux qui se trouvent dans le lit de cette riviere aient été transportés par elle.

La Durance coule dans des plaines et entre des collines presque entièrement formées de cailloux roulés depuis son entrée en Provence jusqu'à son embouchure dans le Rhône. Comme ses eaux sont toujours troubles et fort rapides, tout le monde avoit cru jusqu'à présent qu'elle charioit continuellement des cailloux (1). J'ai fait voir, dans mes observations sur cette riviere, qu'on ne trouvoit que de fort petits graviers et du limon à son embouchure, et que les villages qui étoient sur ses bords depuis plusieurs siecles avoient conservé constamment la même hauteur au-dessus de son niveau. Ainsi, selon l'opinion publique, cette riviere recevroit continuellement des matieres nouvelles, sans que son lit se remplît davantage. Plusieurs naturalistes ne se sont pas bornés à adopter l'idée populaire sur l'action continuelle de la Durance sur les cailloux; ils ont prétendu que les plaines et les collines qui en sont couvertes sont des anciens lits de cette riviere. Comme elle coule dans un très grand nombre d'endroits sur des rochers formés de cailloux, et

(1) Personne n'a exprimé d'une maniere plus précise les effets des eaux de la Durance, d'après l'impression qu'elles font généralement, que Tite Live à l'occasion de l'expédition d'Annibal en Italie. Voici ses paroles: « De « toutes les rivieres qui ont leur source « dans les Alpes, il n'en est point qui « soit plus difficile à passer que la Du« rance. Le volume d'eau qu'elle roule « est immense, et cependant elle n'est « pas navigable; elle n'a, pour ainsi

comme dans plusieurs parties de son cours les collines formées de cailloux roulés ont 150 toises d'élévation au-dessus de son niveau, on peut aisément montrer combien cette opinion est mal étayée. En effet, si ces naturalistes pensent que la Durance creuse toujours plus son lit, elle ne devroit pas couler sur des rochers de cailloux roulés, puisqu'ils supposent qu'elle les apporte; et s'ils croient que le lit de la Durance s'éleve toujours davantage, elle ne peut avoir formé les plaines et les collines qui sont au-dessus de son niveau.

Il y a plusieurs rivieres en Provence qui ne commencent à avoir dans leur lit une grande quantité de cailloux roulés que lorsqu'elles sont fort éloignées de leur origine. On trouve à peu de distance d'Antibes la riviere du Loup, qui a sa source dans des montagnes calcaires, et qui ne roule dans presque toute l'étendue de son cours que des pierres pareilles. A mesure qu'elle approche de la mer, elle traverse des contrées formées de cailloux roulés; mais comme on distingue parmi ces cailloux des granits, des marbres, et d'autres pierres différentes de celles que la riviere avoit chariées jusques-là, on conclut que ces granits, etc. se sont trouvés tout formés sur son cours.

Le Var, après être descendu des montagnes de Savoie, et après avoir été grossi de plusieurs torrents de la haute Provence, entre, à 4 ou 5 lieues de distance de la mer, dans des contrées où les plaines et les collines sont presque entièrement formées de cailloux roulés. Son lit est alors entièrement rempli des mêmes cailloux, et on les observe jusqu'à son embouchure. Comme ses eaux coulent rapidement, on n'a pas manqué de dire qu'elles charioient toujours du gravier. Mais lorsqu'on sait que depuis Antibes les bords de la mer

« dire, point de bords; elle occupe à « la fois plusieurs lits, sans en avoir « jamais de permanents; il s'y forme « à tout moment de nouveaux gués et « de nouveaux gouffres, de maniere « que les piétons mêmes n'y ont pas « de passages fixes. Comme d'ailleurs « elle entraîne continuellement des « cailloux arrondis, elle n'offre à ceux « qui y entrent qu'un fond fugitif et « qu'une traversée dangereuse». *Déc.* 3, *liv. I.*

ne présentent que des cailloux de même espece, et que la plupart des collines qui sont sur les rives du Var sont, sur une grande étendue, formées de cailloux semblables, on ne pourra pas se refuser à croire que ceux qui sont dans son lit lui sont, pour ainsi dire, étrangers; ils s'y trouvent en si grande quantité, et ils forment un fond si solide, que, malgré les dépôts de limon que cette riviere peut entasser, on peut ordinairement, lorsque ses eaux ne sont pas trop élevées, la guéer sans danger à son embouchure même avec des bêtes chargées.

Le Rhône a sur sa rive gauche des plaines immenses de cailloux roulés qu'il n'a certainement pas chariés, non seulement dans le comtat d'Avignon, dans la principauté d'Orange et dans le Dauphiné, mais encore au-dessus de Lyon même.

C'est ici le lieu d'examiner l'opinion de M. de Saussure sur la formation des bancs de cailloux roulés qu'il a observés aux environs de Geneve. Cet auteur distingué expose d'abord quelques faits de la maniere suivante.

« Le naturaliste qui voyage sur les hautes montagnes où les ri« vieres ont leur source, voit des pierres naturellement anguleuses « perdre leurs angles presque sous ses yeux, s'arrondir et se chan« ger en cailloux roulés.

« Mais c'est sur-tout à l'extrémité des grands glaciers, d'où « sortent avec impétuosité des torrents violents dès leur naissance, « que j'ai fait avec grand plaisir cette belle observation. A la source « de l'Aar, par exemple, à celle du Rhône, à celle de l'Arvéron, « etc. comme ces rivieres sortent des glaces à des hauteurs où il n'a « pas passé d'autres courants, toutes les pierres qui ne sont pas « dans leur lit ont la forme angulaire qui leur est naturelle. Ainsi, « sur le glacier duquel sort le torrent, et sur les flancs des mon« tagnes qui le bordent, on ne voit pas une seule pierre qui n'ait « des angles vifs et des arêtes tranchantes: mais, dans le lit de la « riviere, ces mêmes pierres ont toutes leurs angles émoussés, des « formes arrondies; ce sont de vrais cailloux roulés.

« Les

« Les vagues ont aussi le pouvoir de donner aux pierres une « forme arrondie; et on en voit la démonstration quand on trouve « aux bords des grands lacs, et mieux encore aux bords de la mer, « des roches dont les fragments sont naturellement angulaires: « on voit ceux de ces fragments qui ont été exposés au roulis des « flots émoussés et arrondis, tandis que ceux qui sont demeurés « hors de l'eau ont conservé leurs angles naturels.

« C'est ainsi que j'ai vu de grands blocs de la lave dure et angu- « leuse de l'Etna parfaitement arrondis par le choc des vagues, et « réduits, même en peu d'années, à la moitié de leur volume. »

M. de Saussure ajoute ensuite. . . . . . . « Si l'on examine avec « attention la nature et la position des cailloux roulés et des frag- « ments de rochers que l'on rencontre dans la vallée de notre lac « et sur les montagnes voisines, on se persuadera bientôt qu'ils ont « été chariés et arrondis par les eaux, et qu'il est hors de toute « vraisemblance qu'ils aient pu être formés dans les lieux mêmes « où on les trouve.

« On verra que le plus grand nombre de ces cailloux et de ces « rochers est de granit, de roche feuilletée, ou d'autres pierres « alpines ou primitives, tandis que le fond sur lequel ils ont été « déposés est de pierre calcaire ou de grès, et par conséquent d'une « nature absolument différente. . . . .

« Ce ne sont pas seulement les bords du lac et le pied des mon- « tagnes voisines qui sont couverts de cailloux et de grands frag- « ments de roches primitives; on en trouve de semblables disper- « sés sur le mont Saleve, et sur les pentes du Jura qui regardent les « Alpes, jusqu'à la hauteur de 3 ou 400 toises au-dessus du niveau « du lac.

« Il faut donc que les eaux se soient élevées jusqu'à cette hau- « teur.

« Mais, dira-t-on, quelle fut l'origine de ces eaux? qu'est-ce « qui leur donna une impulsion si violente? comment ces masses

« de rochers ont-elles pu être transportées sur des hauteurs que « de larges et profondes vallées séparent des Alpes primitives?

« *Réponse.* Les eaux de l'Océan, dans lequel nos montagnes « ont été formées, couvroient encore une partie de ces montagnes « lorsqu'une violente secousse du globe ouvrit tout-à-coup de « grandes cavités qui étoient vuides auparavant, et causa la rup- « ture d'un grand nombre de rochers, etc. »

Je l'ai déja remarqué, les collines et les plaines formées de cailloux roulés sont fort communes sur la surface de la terre. Il est constant qu'on en observe, pour ainsi dire, sans interruption depuis le Jura jusqu'à la Crau: mais ces cailloux, disposés par lits, et bien arrondis, quoique souvent d'une dureté extrême, annoncent-ils l'effet subit et peu durable d'une grande *débâcle* des eaux de la mer?

D'ailleurs cette débâcle est-elle possible? Tous les naturalistes conviennent que la terre a été entièrement ou presque entièrement couverte par les eaux de la mer: mais, pour rendre raison de leur retraite, on a formé deux systêmes. Selon Vallérius, l'eau peut se changer et se change réellement en terre. Cependant cet effet est très lent. Dans cette hypothese, le volume des terres aura augmenté aux dépens de celui des eaux. Mais il ne peut y avoir eu de débâcle, et les cailloux arrondis qu'on trouve sur les montagnes où aucune riviere n'a coulé ne peuvent tenir leur forme que de l'agitation ordinaire des eaux de la mer.

Dans le second systême adopté beaucoup plus généralement, on suppose que, dans l'intérieur de la terre, il y avoit de très grands creux d'abord vuides dans lesquels les eaux de la mer se sont introduites, et que c'est à cela qu'on doit attribuer l'abaissement de leur niveau. Mais cette seconde hypothese ne favorise pas davantage l'opinion de M. de Saussure. Qu'un réservoir étendu se vuide par un orifice pratiqué au fond, la vîtesse de l'eau à l'orifice sera d'autant plus grande, que la profondeur du réservoir sera plus

considérable. Pourtant, dans le réservoir même, le mouvement du fluide sera d'autant plus lent, que la surface du fond du réservoir sera plus grande relativement à celle de l'orifice.

La vîtesse des eaux étoit sans doute extrême à l'entrée des gouffres où elles se précipitoient; mais les bouches de ces cavités profondes ne pouvoient exister que dans les abymes de l'Océan. Ainsi, dans cette révolution étonnante, les montagnes primitives et les secondaires durent se découvrir avec lenteur, et présenter en sortant du sein des ondes, quelque molles que fussent les matieres qui couvroient leur surface, la forme qu'elles y avoient prise. Si des volumes d'eau considérables remplirent alors des bassins trop élevés, et briserent ensuite les barrieres qui les contenoient, leur action ne put jamais être suffisante pour faire passer des cailloux d'une montagne à l'autre; elle ne put être assez durable pour arrondir complètement ces mêmes cailloux; elle ne put être assez réguliere pour les disposer en lits uniformes. Un torrent furieux peut dégrader des collines, mais il n'en formera jamais.

Lorsque je lus, dans un mémoire relatif à la minéralogie de l'Aunis (1), ces paroles, « (La Rochelle, située au fond du golfe « de Gascogne, est le réceptacle de toutes les matieres que l'Océan « détache continuellement des côtes qui le pressent et l'environ« nent; les grands fleuves qui ont leur embouchure dans le golfe y « charient aussi beaucoup de sable, de pierres et de cailloux rou« lés et arrondis par le frottement; l'Adour, en descendant des « monts Pyrénées, entraîne avec fracas des blocs énormes de gra« nit, de basalte et de schorl, que l'impétuosité de son cours roule « bien avant dans la mer) », je soupçonnai que l'Adour traversoit des contrées couvertes de cailloux roulés. La lecture du discours de M. d'Arcet sur l'état actuel des Pyrénées et sur les causes de leur dégradation a complètement confirmé mon opinion. Voici quelques extraits de cet ouvrage. »

(1) Journal de physique, *année* 1782, *pag.* 467.

« De toutes les parties du globe où le temps a laissé le plus de « marques de ses changements et de ses ravages, il n'y en a point « d'aussi bouleversées que les montagnes qu'on appelle de pre- « miere origine. La partie des Pyrénées que j'ai parcourue va me « servir d'exemple.

« La roche de granit est à nu à leur sommet. Cette cime étroite « n'est en dessus qu'un amas de débris semblables à une forteresse « démantelée; les quartiers de roche séparés conservent les angles « et les tranchants, la forme, en un mot, suivant laquelle ils ont « éclaté. Tel est l'état de tous les hauts sommets; tel est celui du « pic de midi, le plus élevé de tous, dont les flancs sont couverts du « côté du sud d'un amas immense de débris de la roche feuilletée « qui termine son sommet, tandis qu'au nord ils sont creusés par « des ravins d'une énorme profondeur, et dont les ruines vont « jusques dans la plaine former des montagnes secondes d'une très « grande hauteur.

« Dès qu'une gorge s'élargit par l'écartement de deux grandes « montagnes, vous en découvrez d'autres posées sur leurs flancs, « et celles-ci sont d'une forme et d'une égalité de surface plus douce « et plus unie.... Ces secondes montagnes sont donc d'une for- « mation postérieure; elles viennent des débris des premieres. « Celle de Barege en est un exemple; tout son terrain est mo- « bile;.... il n'est point formé par couches;.... il ne présente « qu'un amas immense et confus de débris transportés de toutes « les pierres qui composent les montagnes situées et plus haut et « plus loin. Cette espece de terre graveleuse est remplie de masses « énormes de rochers détachés, visiblement roulés, usés et arrondis « par les eaux, et semblables en tout aux blocs de schiste et de « granit dont le sol de Barege et le lit du torrent voisin sont remplis. « *Les ravins immenses que les lavanges ont creusés dans cette mon- « tagne mettent bien à découvert son origine et sa composition.*

« Je ne finirois pas si je voulois rapporter tout ce qu'on trouve « de débris semblables. Dans quelque direction qu'on parcoure les

« Pyrénées, et plus vous vous élevez vers le centre de ces mon-
« tagnes, plus vous trouvez sous vos pas et sur vos têtes les traces
« frappantes de cette désolation.

« Ces ruines sont donc restées en partie dans l'intérieur de ces « montagnes, où elles en forment des milliers d'autres du second « ordre qui se trouvent par-tout adossées au pied des premieres, « et souvent même d'une grande élévation. Telle est celle d'Irati « du côté de Saint-Jean-Pied-de-Port; cette montagne, couverte « d'une forêt de sapins de toute antiquité, est formée jusqu'à son « sommet de cailloux roulés.

« Ces débris se trouvent aussi transportés dans le Languedoc, « dans le Béarn, le Bigorre et la Gascogne, par la Garonne, les « Gaves et l'Adour. Les lits de ces rivieres en sont couverts; ils y « sont tels aujourd'hui, qu'on ne peut les méconnoître. La chaus- « sée élevée qui mene d'Oléron à Navarreins est en grande partie « faite dans un amas de ces cailloux roulés, et absolument les « mêmes que ceux du torrent qui coule au-dessous. On les recon- « noît encore, mais déja usés et réduits à la petitesse de caillou- « tage et de gravier, *sur le rivage de la mer depuis Andaye jusqu'à « Bayonne; ils vont enfin à 50 lieues plus loin couvrir toute l'éten- « due du Médoc.*

« Je dirai plus: la chaîne de côteaux qui sépare le pays coupé de « Chalosse d'avec cette vaste plaine des landes qui s'étend depuis « l'Armagnac, entre les rivieres de l'Adour et de la Garonne, jus- « qu'à la mer, contient une immense quantité de ces pierres rou- « lées; toutes portent le caractere non équivoque des débris des « montagnes. La hauteur très élevée sur laquelle est bâtie la ville « de Saint-Sever en est formée depuis son sommet jusqu'à une très « grande profondeur.

« Vous voyez donc, d'après ce tableau, que les ruines des Pyré- « nées sont portées en tout sens au nord et au couchant dans la « France à une distance très étendue; vous les trouverez encore « répandues aussi loin en Espagne du côté du midi: et qui peut

« dire quelle énorme quantité les deux mers, et l'Océan sur-tout,
« en renferment dans leur sein?

« Mais passons maintenant à la recherche de ces causes puis-
« santes qui, dans la succession des temps, ont pu occasionner tout
« ce désordre.

« Il me semble qu'on peut concevoir cette chaîne qui s'étend
« ainsi d'une mer à l'autre, comme un grand banc, comme une
« contrée excessivement élevée dans son origine, d'abord pleine
« et unie, mais qui se seroit ensuite dégradée, et auroit été sillon-
« née par la fonte des neiges, par les lavanges, par les vents, les
« pluies, les orages, les tremblements de terre, les alternatives de
« la sécheresse et de la pluie, du froid et du dégel. »

M. d'Arcet regarde enfin les mousses, les plantes et les arbres, comme une cause prochaine de la ruine des montagnes.

Ces extraits prouvent que l'Adour, etc. traverse des contrées formées de cailloux roulés semblables à celles qui sont sur le cours du Rhône, de la Durance, du Var, etc. mais non pas que cette riviere charie des cailloux depuis les Pyrénées jusques dans l'Océan.

On voit par ces extraits qu'une infinité de montagnes secondaires élevées doivent, selon M. d'Arcet, leur origine aux eaux de pluies et aux fontes de neiges; car ces agents sont les plus puissants de ceux dont il a fait l'énumération en parlant des dégradations des Pyrénées.

Pourtant cette opinion paroît bien foiblement étayée lorsqu'on connoît avec quelque exactitude les effets des eaux dans les rivieres, et lorsqu'on sait que les fleuves les plus puissants, non seulement ne forment pas des montagnes, mais cessent bientôt de montrer dans leur lit des cailloux qu'ils aient chariés; d'ailleurs M. d'Arcet conviendra que l'Océan étoit autrefois beaucoup plus élevé, puisqu'il couvroit des montagnes très hautes. Les sommets des Pyrénées avoient donc alors beaucoup moins d'élévation sur le niveau de la mer; la température de l'air sur ces montagnes étoit donc plus

douce; les amas de neige, ou n'y existoient pas, ou y étoient moins abondants. Les torrents qui couloient alors avoient un cours moins long, et rassembloient par conséquent des volumes d'eau moins grands; reçus plutôt dans le sein de la mer, ils perdoient plutôt toute leur vitesse, et laissoient par conséquent plus près de leur origine les cailloux: les effets qu'ils produisirent étoient donc essentiellement plus foibles qu'ils ne le sont de nos jours. Si donc à présent les eaux produites par les fontes de neige et par les pluies ne forment nulle part des montagnes, et ne transportent qu'à de petites distances les cailloux qu'elles trouvent sur leur cours, on doit conclure que jamais elles n'ont pu produire des effets plus considérables, et que la formation des montagnes secondaires des Pyrénées ne doit pas être attribuée aux causes que M. d'Arcet a assignées.

M. de Buffon, à la suite de l'extrait qui suit d'une lettre de M. de Morveau (« J'ai observé que les cailloux gris-noirs, veinés « d'un beau blanc, si communs aux bords du Rhône, qu'on a re- « gardés comme de vrais cailloux, ne sont que de pierres calcaires « roulées et arrondies par le frottement, qui toutes me paroissent « venir de Millery en Suisse, seul endrôit que je connoisse où il y « ait une carriere analogue; de sorte que les masses de ces pierres, « qui couvrent plus de 40 lieues de pays, sont des preuves d'un im- « mense transport par les eaux »), ajoute: « Il est certain que des « eaux aussi rapides que celles du Rhône peuvent transporter d'assez « grosses masses de pierres à de très grandes distances: mais l'ori- « gine de ces pierres arrondies me paroît bien plus ancienne que « l'action du courant des fleuves et des rivieres, puisqu'il y a des « montagnes presque entièrement composées de ces pierres arron- « dies qui n'ont pu y être accumulées que par les eaux de la mer. » *Histoire naturelle des minéraux, tom. II, pag.* 47.

L'auteur de l'excellent discours qui est à la tête des Voyages pittoresques de la Suisse a adopté l'opinion commune au sujet de l'action des eaux courantes sur les cailloux.

« Il n'est pas toujours nécessaire de recourir à l'effet des vagues « de la mer pour trouver la cause de l'arrondissement des cailloux « ou galets; les torrents, dans un court espace de chemin, peuvent « produire cet effet sur les especes les plus dures quand ils se pré- « cipitent sur un terrain en pente. Il n'est pas hors de propos de « rapporter ce qui s'est passé sous nos yeux, pour ainsi dire.

« Le 16 juillet 1777, nous visitions les glacieres des Alpes de « Faucigny en Savoie. En allant au glacier de l'Argentiere, près de « Châmouny, nous vîmes qu'une énorme quantité de terre, de « gravier, et sur-tout de pierres roulées et arrondies, couvroit des « terrains considérables; des sapins, des méleses et des aunes fort « gros, étoient arrachés, renversés, d'autres rompus; des ravins « profonds étoient nouvellement creusés; des masses prodigieuses « de granit étoient jettées au loin; d'autres mêlées parmi ces tas de « décombres, au travers desquels on apperçoit quelques vestiges « de culture, des apparences d'enclos et de possessions: il sem- « bloit que ce bouleversement étoit arrivé de la veille. M. le Jond, « curé du lieu, nous dit que *le 2 du même mois, à 6 heures du* « *matin, il étoit tombé une grande pluie chaude qui avoit duré 24* « *heures; que la nuit il y avoit eu un bruit et un fracas épouvan-* « *tables; que les maisons du village et les environs avoient été telle-* « *ment ébranlés par ce bruit, que tous les habitants, malgré la* « *pluie horrible qu'il faisoit, avoient quitté leurs habitations,* « *croyant que c'étoit un tremblement de terre, et craignant d'être* « *ensevelis sous les ruines de leurs maisons; qu'une odeur de soufre* « *très forte et une poussiere à ne pouvoir respirer les avoient entre-* « *tenus dans cette frayeur, et les avoient empêchés de rentrer chez* « *eux avant le jour, et qu'après s'être assurés que cette odeur et* « *cette poussiere provenoient des pierres qui rouloient avec les eaux;* « *enfin que ce désastre et la ruine des pâturages, des prés, des* « *champs et des jardins que nous voyions, étoient la suite de cet* « *orage.*

« Curieux de voir de quelle hauteur ces pierres étoient descen-

« dues,

« dues, nous suivîmes la route qu'avoit trop bien tracée le torrent. « Après une bonne demi-heure de chemin, nous parvînmes au pied « du glacier de l'Argentiere; plus nous montions, moins les pierres « étoient déformées et arrondies. La pluie étoit tombée sur les mon- « tagnes environnantes qui étoient alors chargées de neige, et sur « le glacier même; elle avoit fondu les neiges, élargi les fentes du « glacier par la même raison, et en avoit formé des gouffres ef- « froyables. Le volume d'eau avoit entraîné les terres, les graviers « et les pierres de la Mareme, ou enceinte gauche du glacier. Les « pierres qui étoient restées en place, parcequ'elles ne s'étoient « pas trouvées immédiatement dans le passage du torrent, étoient « anguleuses, de formes variées et point arrondies, comme celles « qui étoient dans les bas; elles étoient absolument de la même « espece, des granits gris composés de quartz, de feld-spath et « de mica verd-noirâtre. Le premier volume d'eau qui étoit tombé « d'abord, ayant entraîné les terres, les graviers, et les plus pe- « tites pierres mêlées aux grosses masses, avoit privé celles-ci de « leur assiette, ou espece de liaison que formoient tous ces pe- « tits débris. La fonte des neiges et des glaces, se trouvant jointe « ensuite à la grande pluie qui tomboit, avoit enfin entraîné de « même les plus grosses masses, qui, roulant et bondissant de ro- « chers en rochers, et se heurtant dans leur chûte, avoient occa- « sionné ce bruit, ce tremblement, qui avoit effrayé les habitants. « *Le frottement et l'égrisement de cette énorme quantité de granit* « *avoient occasionné cette poussiere malgré la grande pluie.* Le foie « de soufre contenu dans le feld-spath s'étoit dégagé par le même « frottement, et avoit été pris pour une odeur de soufre. Les ro- « chers, aussi de granit, sur lesquels tous ces débris s'étoient pré- « cipités, étoient usés; les angles en étoient arrondis et les côtés « latéraux creusés, ainsi que nous l'avons remarqué dans tous les « passages étroits où les eaux coulent avec rapidité, charient et « entraînent beaucoup de pierres. Après différentes observations « en ce genre, nous n'avons pu nous refuser à l'évidence et à l'expli-

« cation naturelle de l'arrondissement des pierres qu'on nomme
« cailloux ou galets, et aux excavations des lits ou canaux par les
« torrents dans les rochers les plus durs. »

C'est ainsi que les personnes les plus instruites se laissent séduire par des apparences; c'est ainsi, pour me servir d'une expression de l'auteur, qu'à force d'être répétés, des faits peu exacts s'accréditent, et finissent par servir de base aux nouvelles théories qu'on établit journellement.

Quand on me dira que des volumes d'eau considérables ont formé des ravins profonds, je le croirai sans peine, sur-tout si le sol où ils se sont établis n'étoit pas pierreux. Les terres, le sable, le limon, sont aisément décomposés et soutenus par les eaux; mais si le sol étoit pierreux, ce ne seroit que successivement et difficilement que les ravins pourroient être creusés. Il n'y a jamais que les cailloux les plus extérieurs qui soient emportés, et ils sont même jettés bientôt sur les bords par le courant: on conçoit, en effet, que s'ils étoient entraînés à la fois sous un volume un peu grand, ils formeroient des entassements que les eaux ne pourroient surmonter, et qui leur serviroient de barrieres.

J'ai vu sur des lieux montagneux, après des orages, des terres auparavant fertiles entièrement couvertes de pierres: mais ces cailloux n'avoient pas été amenés par les eaux; le terrain avoit été emporté, et les pierres sur lesquelles il reposoit étoient restées. Sur des montagnes formées de cailloux roulés, ces pierres, qui avoient résisté à l'impétuosité des eaux, auroient été arrondies: mais leur forme auroit-elle dû être regardée comme l'effet d'un orage passager?

Qu'on fasse rouler du haut d'une montagne rapide des pierres dures, elles pourront se briser quelquefois; quelqu'un de leurs angles s'émoussera: mais aucune d'elles ne sauroit s'arrondir ni présenter ensuite une surface polie; cette forme ne peut être que l'effet d'une cause successive et lente. Ce que le ciseau et le marteau ne pourroient faire que difficilement sur des pierres

quartzeuses, ce que le frottement long sur de la poudre d'émail pourroit à peine produire, ne sauroit être l'ouvrage du mouvement subit et peu durable des eaux. Si on ajoute à ces considérations que les cailloux perdent une très grande partie de leur poids dans l'eau, qu'ils s'y meuvent par conséquent comme s'ils avoient moins de masse, qu'ils ne portent que sur un petit nombre de points, qu'ils ne prennent qu'une partie du mouvement de l'eau, on ne pourra jamais se prêter à croire qu'ils éprouvent des chocs assez grands pour se réduire en éclats, que leurs angles s'émoussent, que leur surface se polisse, qu'ils puissent arrondir les angles de masses de granits, en creuser les côtés latéraux, et favoriser l'excavation des lits des torrents dans les rochers les plus durs, et on ne concevra sur-tout jamais que des pierres, en se brisant et en se décomposant dans l'eau, laissent échapper dans l'air *la poussiere en laquelle elles se réduisent.*

J'ai remarqué souvent que, lorsqu'une riviere éprouvoit une crue subite et considérable, et qu'elle étoit chargée de terre et de limon, il se dégageoit des eaux un air infect et méphitique qui ne me permettoit pas de respirer aisément, et me forçoit de m'éloigner des bords. Je conçois aisément qu'un torrent affreux qui fouille un terrain et le bouleverse peut en dégager, sur-tout s'il éprouve des chûtes, des gas ou vapeurs qui gêneront la respiration de ceux qui en seront trop voisins. La poussiere produit sans doute un effet semblable; et cette derniere cause étant très connue, il étoit naturel que les habitants du village en question, dans l'obscurité de la nuit, lui attribuassent la difficulté qu'ils éprouvoient à respirer.

Nous devons cette justice à M. Besson, que s'il a attribué aux torrents des effets plus grands que ceux qu'ils peuvent produire, s'il a dit que dans quelques endroits ils ont formé des collines étendues, il a aussi avoué ailleurs que des amas de cailloux roulés qu'il avoit rencontrés ne paroissoient avoir aucune origine. A l'occasion de la montagne de Saint-Gal, qui est toute composée de galets et de

pierres sablonneuses, il dit que ces pierres n'y ont pas été placées brusquement, mais avec gradation et par la longueur des temps.

308. QUESTION III. Les rivieres qui ne rencontrent pas sur leur cours des bancs de cailloux roulés tirent-elles de leur origine tous ceux qu'on voit dans leur lit?

Nous avons remarqué que les pluies étoient communément plus abondantes sur les montagnes, et par conséquent aux endroits où les rivieres ont leur origine: les eaux entraînent alors facilement les terres, et laissent les pierres et les rochers à découvert. On observe souvent que les champs sont extrêmement pierreux sur la croupe des montagnes: mais ces amas de cailloux n'ont point été rassemblés par les eaux, elles les ont seulement rendus plus apparents en entraînant les terres dont ils étoient environnés.

Les eaux pluviales, en se réunissant immédiatement après leur chûte, forment de petits canaux; mais à mesure que leur volume augmente, elles couvrent des lits plus larges et plus profonds: d'abord elles ne peuvent entraîner que des terres sans avoir la force de rouler des cailloux; elles laissent ceux-ci, ou ne leur font éprouver que des mouvements foibles; et lorsqu'ils sont rassemblés en assez grande quantité, ils garantissent le fond, et empêchent qu'il ne soit toujours creusé davantage.

J'ai suivi avec la plus grande attention un très grand nombre de petits torrents à leur origine. Lorsque les terres qui formoient leurs bords étoient uniquement formées de sable, le fond du lit ne montroit point de cailloux.

Lorsque les terres au travers desquelles les eaux s'étoient ouvert un passage étoient mêlées avec des pierres, je voyois des cailloux sur le fond du lit en une quantité d'autant plus grande qu'on en appercevoit davantage sur la coupe des bords.

En général, en imaginant qu'on eût passé au crible tout le terrain occupé par le lit d'un torrent, et qu'on eût laissé seulement dans le lit toutes les pierres, on auroit l'idée exacte de l'effet que les eaux y ont produit.

Comme les torrents ne peuvent charier de cailloux à leur premiere origine, comme pour produire cet effet il faut qu'ils soient déja devenus assez puissants, et comme les cailloux ne peuvent entrer d'eux-mêmes dans leur lit, il est évident que si les torrents parviennent à montrer sur le fond où ils coulent une très grande quantité de cailloux, c'est parcequ'ils ont attaqué successivement chacun de leurs bords dans une étendue plus ou moins grande; ils ont comme criblé le terrain; ils l'ont emporté, et ils ont conservé les cailloux. On sait que les pierres qui ont été une fois dans le lit des torrents n'en sortent plus.

Les torrents de même force ne présentent pas dans leur lit la même abondance de cailloux. Cet effet, d'après ce que nous avons dit, n'a rien qui doive surprendre; les eaux ne peuvent montrer dans leur lit que les matieres qu'elles rencontrent. Or la composition du sol qu'elles peuvent traverser est sujette à des variations infinies: on voit des torrents qui, après avoir traversé des terres légeres et homogenes, passent sur des terrains pierreux; là ils coulent sur le sable, ici sur le gravier.

On voit souvent des rivieres dont le fond est couvert de cailloux, quoique sur toute la hauteur de leurs bords on n'en observe aucun. Mais ces bords peuvent avoir été formés par ces rivieres mêmes; ils peuvent aussi être primitifs. Dans le premier cas, les cailloux ont pu exister dans l'espace occupé par la riviere dans le temps où elle n'y avoit pas encore établi son lit; mais si les bords sont primitifs, on ne peut guere douter que les cailloux ne soient venus de plus haut, et qu'ils n'aient été transportés par les eaux.

Nous pourrions citer une infinité de rivieres qui, traversant successivement des plaines et des vallées étroites, et dégradant leurs bords à chaque inondation, augmentent loin de leur origine le nombre des cailloux qui entrent dans leur lit: ainsi on peut regarder comme une chose certaine que la quantité et la position des cailloux qu'on voit dans le lit des rivieres dépendent principalement de l'organisation primitive du sol où les rivieres ont établi leur

cours; et c'est une erreur manifeste de penser qu'ils viennent tous, ou même principalement de l'origine de ces rivieres.

309. QUESTION IV. Quelles sont les circonstances les plus favorables pour que les rivieres offrent une plus grande quantité de cailloux dans leur lit?

Les hommes ne peuvent former des sociétés nombreuses sans détruire autour d'eux toutes les productions ordinaires de la nature pour la forcer de multiplier celles qui conviennent à leurs besoins. De tous les lieux qu'ils peuvent choisir, il n'en est pas de plus favorable que les bords des rivieres; leurs eaux offrent souvent des communications faciles; les terres voisines, couvertes des dépouilles des montagnes, et fertilisées par elles, ne multiplient jamais davantage les germes qu'on y répand.

Dans les lieux où les hommes n'ont point pénétré, la terre est couverte d'arbres, d'arbustes, de plantes; et à proportion qu'elle est plus fertile, ces arbres sont plus nombreux et plus beaux. Ceux qui naissent sur les bords des rivieres ont donc la position la plus avantageuse; aussi on remarque qu'ils croissent très rapidement, qu'ils deviennent très gros, et qu'ils peuvent être singulièrement pressés, sans que leur développement en souffre. Ces forêts servent de barriere aux fleuves; les ronces, les lianes, etc. qui naissent au pied des arbres et embrassent leurs tiges, concourent avec elles à ralentir le mouvement des eaux qui débordent; elles arrêtent la terre et les autres corps qu'elles charioient. Les bords sont ainsi élevés par des dépôts successifs jusqu'au terme des plus grandes inondations; et ils sont si bien raffermis par l'entretien et le renouvellement des arbres (1) et des plantes, qu'ils bravent les efforts les plus violents des eaux.

(1) Sur les rives de l'Amazone, on foule la terre aux pieds sans la voir; elle est si couverte d'herbes touffues, d'arbustes, de lianes, de broussailles et de racines, qui se croisent en tout sens, qu'il faudroit un assez long travail pour en découvrir l'espace d'un pied. *Mémoires de l'Académie, année* 1745, *pag.* 417.

Mais, dans les lieux que les hommes ont choisis pour leur demeure, les forêts ont été détruites; on cultive la terre jusqu'au bord des fleuves. On n'éleve pas toujours des digues pour se garantir des inondations; et, pour conserver le terrain, on n'imite pas toujours ce que fait ailleurs la nature; on ne plante pas des arbres pour lui donner de la stabilité.

On observe souvent, dans les plaines traversées par des rivieres, que les bords sont plus élevés que ne l'est le terrain à une certaine distance de ces rivieres. Cet effet est, en général, produit par deux causes. 1°. Les arbres, les arbustes et les plantes, qui naissent aux bords des rivieres, occasionnent des dépôts au temps des inondations; les bords s'élevent ainsi toujours davantage. 2°. On ne cultive ordinairement les terres qu'à quelque distance des rivieres: les eaux passent donc d'abord, en sortant de leur lit, sur un sol arrêté qu'elles ne peuvent corroder; mais lorsqu'elles sont parvenues aux terres cultivées, elles les emportent facilement.

Il arrive des effets contraires à ceux que nous venons d'exposer dans les lieux où les terres sont cultivées jusqu'aux bords, et où il n'y a point d'arbres.

« Les montagnes s'abaissent, dit M. Guettard, les vallées s'é-« levent, la terre semble tendre à prendre une surface plane. Ce « sont là des vérités que des observations journalieres prouvent de « plus en plus, que beaucoup de naturalistes ont embrassées, et « auxquelles on ne peut guere se refuser. »

On ne peut douter, en effet, que les pluies ne dégradent continuellement les montagnes dans les lieux où la population est nombreuse, où les hommes ont détruit les bois, et où ils ont mis toutes les terres en valeur. A peine les eaux tombent-elles du ciel, qu'elles perdent leur limpidité en s'incorporant les parties les plus fines des terres; mais, acquérant insensiblement plus de masse et de vîtesse, et devenant ainsi capables d'une action plus puissante, elles entraînent d'abord des sables, ensuite des cailloux, et elles peuvent enfin pousser devant elles des masses énormes de rochers.

Les plus grands efforts de l'industrie humaine se bornent à éloigner alors le terme du dépouillement des lieux élevés : les murs qu'on construit pour soutenir les terres affoiblissent l'action des eaux sans la détruire. Mais lorsque ces moyens, tout efficaces qu'ils sont, ne sont pas employés, les plus grandes dégradations sont la suite de l'avidité des hommes ; ils perdent souvent sans retour, après une jouissance passagere, jusqu'à l'espoir de voir naître quelques végétaux sur des lieux qui leur auroient été toujours utiles s'ils y avoient respecté les productions de la nature.

La maniere dont les montagnes sont organisées, et les matieres dont elles sont formées, contribuent beaucoup à rendre leur dégradation plus ou moins rapide. Je ne me livre point aux détails que cette discussion pourroit fournir ; il suffit d'être un peu instruit en histoire naturelle pour prévoir, selon les circonstances, quel doit être l'effet de l'action des eaux (1).

La constitution météorologique d'un pays influe beaucoup encore sur la conservation des montagnes. Le P. Frisi assure qu'en Angleterre les rivieres ne montrent jamais des eaux troubles ; c'est une preuve que les pluies tombent fort lentement, et qu'elles pénetrent la terre sans dégrader la surface. Pourtant il y a beaucoup de montagnes en Angleterre, et il s'en faut de beaucoup que les

(1) « Un danger plus extraordinaire « que l'on court quelquefois sur cette « route, est celui d'être surpris par des « torrents qui se forment subitement, « et descendent avec une vitesse in- « croyable du haut des montagnes qui « sont sur la gauche de la grande « route.

« Ces montagnes, presque toutes « d'ardoises, et en plusieurs endroits « d'ardoises décomposées, renferment « des especes de bassins fort étendus « dans lesquels les orages accumulent « quelquefois une quantité immense « d'eau. Ces eaux, lorsqu'elles par- « viennent à une certaine hauteur, « rompent tout-à-coup quelqu'une « des parois peu solides de leurs ré- « servoirs, et descendent alors avec « une rapidité terrible. Ce n'est pas de « l'eau pure, mais une espece de boue « liquide mêlée d'ardoise décomposée « et de fragments de roches. La force « impulsive de cette bouillie dense et « visqueuse est incompréhensible : « elle entraîne des roches, renverse

terres soient sans culture et dans un état qui favorise aussi peu l'action des eaux que lorsque ce pays étoit désert.

310. QUESTION V. Les rivieres peuvent-elles charier des cailloux depuis leur origine jusqu'à leur embouchure? et, en général, les transportent-elles loin des lieux où elles les reçoivent dans leur lit?

Tant que les rivieres ne sont entretenues que par des sources et qu'elles ne passent pas sur des fonds susceptibles d'une décomposition facile, leurs eaux sont pures et limpides, quelles que soient l'étendue qu'elles occupent et leur rapidité; mais lorsqu'elles sont grossies par des pluies considérables, elles deviennent troubles, soit en recevant les terres que les eaux ont détachées des campagnes, soit par le bouleversement que des accrues subites occasionnent dans les matieres mêmes qui auroient été antérieurement déposées sur le fond, soit enfin par la corrosion des bords. Mais les cailloux, qui sont les corps les moins mobiles qui soient dans le lit des rivieres, sont-ils déplacés à chaque crue, et sont-ils transportés alors loin des lieux où ils étoient avant chaque inondation?

Ces questions ne sont pas sans doute susceptibles d'une solution directe et rigoureuse: mais, en consultant la nature et les faits, on découvre aisément les limites de l'action des eaux; et si on ne peut

« les édifices qui se trouvent sur son « passage, déracine les plus grands « arbres, et désole les campagnes en « creusant de profondes ravines, et en « couvrant les terres d'une épaisseur « considérable de limon, de gravier, « et de fragments de rochers.

« Cet accident est très rare: je ne « l'ai vu qu'une seule fois le 7 août « 1767; et quoiqu'au moment où je « le rencontrai il fût déja sur son dé« clin, j'en vis assez pour m'en former « une idée. On ne peut pas imaginer « un spectacle plus hideux: ces ar« doises décomposées formoient une « boue épaisse dont les vagues noires « rendoient un son sourd et lugubre; « et, malgré la lenteur avec laquelle « elles sembloient se mouvoir, on les « voyoit rouler des troncs d'arbres et « des blocs de rocher d'un volume et « d'un poids considérable ». *Voyage dans les Alpes de M. de Saussure, tom. II, pag.* 204.

montrer la vérité dans tout son jour, on parvient du moins à écarter une partie du voile sous lequel elle étoit cachée.

Nous avons dit qu'on devoit considérer le lit d'un fleuve, ainsi que celui de toutes les rivieres qui le grossissent, comme un assemblage de canaux creusés par les eaux, d'où elles ont enlevé les terres et les sables, et où elles ont laissé les cailloux.

Nous avons annoncé comme un fait constant qu'en remontant à l'origine des rivieres, on trouvoit que leur lit avoit toujours moins de largeur et de profondeur, et qu'on parvenoit enfin à des points où, ne recevant que des volumes d'eau peu considérables, elles ne montroient que des cailloux irréguliers dont les angles étoient à peine émoussés, et qui annonçoient ainsi que l'action des eaux sur eux étoit extrêmement foible et qu'ils n'étoient guere déplacés.

Il est donc faux qu'à chaque crue il entre dans l'assemblage des canaux qui reçoivent les eaux, dont la réunion forme ensuite un fleuve, de nouveaux cailloux de l'origine des torrents. Pour que le nombre de cailloux augmente dans l'assemblage de ces canaux, il est nécessaire que les eaux dégradent les bords dans les parties où le terrain qui forme ces bords est mêlé de pierres. Il est donc incontestable que le nombre des cailloux n'augmente point dans le lit d'un fleuve, ni dans celui des rivieres et des torrents qui servent à le former, quelle que soit la quantité des eaux que ce fleuve, ces rivieres et ces torrents puissent recevoir tant que leurs bords ne sont pas détruits.

Mais les torrents, les rivieres et les fleuves, ne changent pas facilement de lit; la nature multiplie presque toujours des arbres sur leurs bords comme si elle s'intéressoit à les conserver: s'ils se déplacent quelquefois, ce n'est jamais que dans de petits espaces; souvent même ils ne font guere alors que se balancer entre des obstacles qu'ils ne peuvent vaincre, et là ils ne détruisent que des bords qu'ils ont élevés eux-mêmes de leurs propres atterrissements.

Les circonstances qui permettent l'entrée de nouveaux cailloux

dans toute l'étendue du lit d'un fleuve et des rivieres qui servent à le former sont donc peu fréquentes; et si on compare l'espace immense qu'occupe ce lit avec le volume des nouvelles pierres qui pourroit y entrer, on ne s'alarmera pas aisément sur l'action des eaux au temps des crues, et on ne craindra pas qu'elles puissent y conduire assez de cailloux pour élever jamais sensiblement le fond de leur lit dans toute son étendue.

Des rivieres très considérables, et qui prennent naissance dans les lieux les plus montagneux, pourroient avec des soins améliorer singulièrement les terres qu'elles couvrent, et elles ne seroient guere nuisibles si on n'avoit à redouter que les cailloux qu'elles entraînent.

« En sortant de Saint-Martin, on entre dans une belle route rec« tiligne tracée sur le fond horizontal de la vallée. On regrette, en « faisant cette route, la quantité de terrain que les débordements « de l'Arve rendent inutile, sur-tout si l'on réfléchit combien les « terres arables sont précieuses dans ces pays montueux. Le fond « de la vallée est si plat, que, pour peu que la riviere se déborde, « elle l'inonde en entier; même, dans les temps ordinaires, elle en « couvre une grande partie, et le moindre obstacle lui fait changer « de lit presque d'un jour à l'autre. Si l'on pouvoit par une digue « la contenir dans un lit permanent, on y gagneroit presque une « lieue quarrée de terrain qui seroit bientôt en valeur, parceque le « limon de cette riviere est très fin et très fertile.

« Lorsque l'Arve est basse, cet espace *sablonneux* et aride pré« sente un aspect triste et ingrat; mais, etc. » *Voyage dans les Alpes de M. de Saussure, tom. II, pag.* 203.

Lorsqu'en remontant à l'origine des torrents, nous avons trouvé des pierres, nous avons observé qu'elles n'essuyoient guere de déplacements. En descendant à l'embouchure des fleuves, nous n'y voyons plus de cailloux. Le transport des graviers se fait donc avec une difficulté égale aux deux extrémités de l'assemblage de canaux que reçoivent les eaux dont les fleuves sont formés. A l'origine des

torrents, les pierres sont ordinairement disposées sur une pente considérable; mais la masse d'eau qui coule sur elles n'est pas assez grande pour les faire rouler. Vers l'embouchure des fleuves, la pente est véritablement insensible; mais le volume du fluide qui passe au-dessus des cailloux est souvent immense, et la vîtesse dont il est quelquefois animé est supérieure à celle qui seroit nécessaire pour les entraîner s'ils étoient disposés sur un plan uni.

On sait d'ailleurs que c'est dans les torrents les plus sujets à des crues subites que les eaux occasionnent de plus grandes dégradations, et que les cailloux éprouvent des déplacements plus marqués.

En représentant par une ligne droite le développement du lit d'un fleuve, et en exprimant la facilité avec laquelle les eaux entraînent les cailloux dans les différentes parties de leur cours par des ordonnées perpendiculaires à cette droite, ces ordonnées se termineroient à une ligne courbe fermée: en effet, ces ordonnées seroient zéro à l'origine des torrents et vers l'embouchure des fleuves.

Cette courbe peut être sans doute fort irréguliere et fort différente selon les fleuves; mais, d'après les effets connus des eaux à de petites distances de l'origine des torrents, on est forcé de reconnoître que la place des plus grandes ordonnées doit être considérablement plus voisine de l'origine des fleuves que de leur embouchure.

Pour parvenir à connoître avec quelque exactitude comment est produit le transport des graviers, il faut consulter la nature, faire une énumération complete de tout ce qui peut contribuer à cet effet, et éviter avec soin l'emploi des causes imaginaires. Si, en suivant ce plan, nous ne sommes pas assez heureux pour saisir tous les détails de l'action des eaux, nous connoîtrons du moins des limites importantes, et nous approcherons peut-être de la vérité autant que la difficulté du sujet peut le permettre.

Je descends dans le lit des rivieres d'Argens et de Gapeau (1)

(1) Rivieres de la basse Provence qui ont leur origine dans des pays calcaires,

dans la partie de leur cours où elles traversent des pays schisteux ou graniteux; j'y vois des pierres calcaires; je ne puis douter que ces pierres n'aient été amenées à la place où je les observe, et qu'elles n'aient été détachées primitivement des montagnes calcaires que les eaux ont d'abord traversées avant d'arriver au pays graniteux.

J'entre dans le lit d'un torrent au-dessous d'Ollioules (1); je vois des laves arrondies dans son lit; je le remonte, je suis ainsi conduit aux volcans éteints qui sont au-dessus de ce village et à ceux d'Évenos, et je trouve indubitablement la source d'où sont partis les galets volcaniques que j'avois observés.

Je suis convaincu que les galets calcaires et les laves ont été entraînés par les eaux: mais je sens en même temps l'impossibilité où je suis de pouvoir jamais observer cet effet, les eaux ne déplacent point le gravier tant qu'elles sont limpides; et je conçois que toutes les fois qu'elles peuvent se troubler, c'est-à-dire soulever le limon ou le sable, elles ne sont pas pour cela assez puissantes pour entraîner des cailloux. Je présume que ces matieres sont transportées lorsque les eaux ont la plus grande vîtesse; mais l'action qu'elles peuvent exercer alors est dérobée à mes regards.

Je soupçonne que la grosseur des cailloux peut servir à indiquer le degré de force nécessaire pour les mouvoir dans les différentes parties du lit des rivieres; mais j'abandonne cette idée lorsque je vois à la fois dans la même partie du lit de grands et de petits graviers, du sable et du limon.

Toujours placé dans la partie graniteuse des rivieres d'Argens et de Gapeau, je cherche à connoître si les pierres calcaires qui s'offrent à moi viennent de l'origine de ces rivieres, ou seulement des lieux où se trouvent les derniers rochers qui soient sur leurs bords.

---

et qui terminent leur cours dans des contrées granitiques ou schisteuses.]

(1) Village près de Toulon.

Les roches calcaires ont sensiblement le même grain dans tout l'espace traversé par les eaux qui forment Argens et Gapeau. L'inspection des cailloux de cette espece ne sauroit donc me fournir aucune instruction sur les lieux d'où ils ont pu être amenés.

Ne pouvant marquer le point d'où ces cailloux ont été chariés, je cherche celui qu'ils n'ont pas franchi : je connois ainsi, par la distance de ce dernier point au pays calcaire et à l'origine de ces rivieres, le moindre et le plus grand espace que les eaux aient pu faire parcourir à ces graviers.

Je sonde Gapeau et Argens à leur embouchure; je trouve qu'ils ne coulent alors que sur du sable ou du limon. Je remonte ces rivieres; et quoiqu'elles soient toujours contenues par des bords assez voisins, elles n'offrent sur un grand espace pas même les especes de cailloux particuliers aux contrées qu'elles traversent immédiatement avant d'entrer dans la mer. Les premiers graviers que j'observe sont fort petits, et il faut que je m'éloigne assez de l'embouchure pour en trouver de semblables à ceux que ces rivieres présentent dans le reste de leur cours.

Le pays calcaire est éloigné de 2 lieues et demie de l'embouchure de Gapeau et de 5 lieues de celle d'Argens. Les deux rivieres ayant leur origine dans des pays montagneux et pierreux, et n'en traversant, pour ainsi dire, pas d'autres, ont sur une grande étendue de leur cours beaucoup de pente, et sont sujettes à des crues subites et considérables. Les eaux d'Argens sont même rarement bien limpides; elles ne charient cependant pas des graviers jusqu'à leur embouchure. Les cailloux calcaires ne s'étendent pas à plus d'une lieue et demie de l'origine du pays schisteux dans Gapeau et à plus de 3 lieues dans Argens; d'ailleurs leur nombre est d'autant plus petit, qu'on s'éloigne davantage de la contrée qui les a fournis.

Les torrents qui forment Gapeau, et qui parcourent le plus d'espace dans le pays calcaire, n'ont guere plus de 4 lieues de cours, et ceux qui forment Argens n'ont pas plus de 14 lieues dans le pays calcaire.

Ainsi dans Gapeau, selon que l'on suppose que les cailloux calcaires les plus voisins de son embouchure sont venus de l'origine de cette riviere ou des contrées les plus voisines du pays schisteux, on trouve que les eaux leur ont fait parcourir 6 lieues dans le premier cas et 2 lieues seulement dans le second.

Dans Argens, avec des suppositions semblables, le plus grand espace qu'aient pu parcourir les cailloux calcaires sera de 17 lieues, et le moindre de 3 lieues.

Ces rivieres, ayant beaucoup de pente, et réunissant au temps des crues des volumes d'eau considérables, sont très rapides; elles parcourent alors plus de 10 pieds par seconde dans un grand nombre de points de leur cours.

Nous connoissons donc le plus grand et le plus petit espace que les eaux aient pu faire parcourir aux cailloux calcaires dans Gapeau et dans Argens. Cet effet est bien déterminé; il ne peut être attribué qu'à l'action de ces rivieres, attendu qu'on ne trouve pas sur leur cours des plaines ni des collines formées de cailloux roulés: mais la mesure de cette action, en la supposant même uniforme, ne peut se trouver qu'en connoissant le temps pendant lequel elle a été exercée.

On peut compter quatre ou cinq crues considérables chaque année. J'ai vu ces rivieres dans ces circonstances; et à juger par leur agitation, leur murmure, leur volume et leur rapidité, je n'aurois pas imaginé qu'il fallût plus d'une crue pour qu'elles pussent entraîner avec elles des cailloux jusqu'à la mer: cependant elles baissoient ensuite successivement, et, reprenant leur volume ordinaire et leur limpidité, elles laissoient voir, dans tous les lieux où leurs bords n'avoient pas été détruits, le fond de leur lit dans le même état où il étoit avant la crue, et les cailloux les plus avancés ne s'étoient pas approchés davantage de l'embouchure.

Eh! comment, en effet, les pierres qui couvrent le fond du lit de Gapeau et d'Argens pourroient-elles, lors d'une crue, partager facilement la mobilité des eaux, si, depuis que ces rivieres existent,

elles ont influé si foiblement sur le transport des cailloux? Leur plus grand effet est connu et borné, tandis que l'époque où elles ont commencé de couler se perd dans la nuit des temps, et sera à jamais le secret de la nature.

J'ai préféré les exemples que je viens de citer à un grand nombre d'autres que j'aurois pu choisir, parcequ'ils réunissoient toutes les circonstances qui pouvoient rendre plus sensible l'influence du mouvement des eaux sur le transport des cailloux. La pente de Gapeau et d'Argens est grande; le volume de leurs eaux au temps des crues est considérable, et la différence dans la nature des cailloux qu'elles peuvent charier est bien marquée.

En réfléchissant sur les détails où je suis entré, il me semble qu'on ne peut pas démontrer plus clairement combien les rivieres contribuent peu à produire des changements sur la surface du globe; elles ne font guere que charier à leur embouchure le limon et le sable qu'elles enlevent aux lieux les plus élevés de leur cours: car presque par-tout elles coulent long-temps entre les mêmes bords, et, lorsqu'elles les dégradent d'un côté, elles forment sur l'autre des dépôts équivalents. Aussi je ne conçois pas comment il a pu se trouver des physiciens qui aient attribué la formation des montagnes et des vallées aux eaux courantes. Il faut une étendue de pays si considérable pour rassembler assez d'eaux pluviales pour fournir à l'entretien d'une riviere de quelque considération, que les vallées devroient être par-tout fort éloignées les unes des autres dans le cas où elles auroient une origine pareille. Si d'ailleurs il est prouvé par les faits que les rivieres n'occupent qu'une très petite partie des vallées qu'elles traversent, et qu'elles ne produisent, pour ainsi dire, aucune altération au fond sur lequel elles coulent, et qu'en général elles s'élevent au lieu de le creuser, comment concevra-t-on qu'elles aient pu former des montagnes?

Je sais qu'on a dit que la Durance, *dans un temps où elle étoit beaucoup plus puissante,* avoit formé les plaines et les collines de cailloux roulés qu'on voit sur ses bords: mais, sans recourir aux

raisons

raisons qui prouvent que ces amas de cailloux (1) roulés ont été formés dans la mer, il suffit, pour montrer que la Durance ne les a pas chariés, de faire connoître combien est bornée l'action des eaux sur les cailloux dans la riviere la plus puissante qui existe. J'ouvre le voyage sur l'Amazone par M. de la Condamine, et j'y lis :

« Arrivé à Borja, je me trouvois dans un nouveau monde, éloi-« gné de tout commerce humain, sur une mer d'eau douce, au « milieu d'un labyrinthe de lacs, de rivieres et de canaux, qui pé-« netrent en tout sens une forêt immense qu'eux seuls rendent ac-« cessible. Je rencontrois de nouvelles plantes, de nouveaux ani-« maux, de nouveaux hommes. Mes yeux, accoutumés depuis « sept ans à voir des montagnes se perdre dans les nues, ne pou-« voient se lasser de faire le tour de l'horizon, sans autre obstacle « que les bois et les collines du Pongo, qui alloient bientôt dispa-« roître à ma vue. A cette foule d'objets variés, qui diversifient les « campagnes cultivées des environs de Quito, succédoit l'aspect le « plus uniforme; de l'eau, de la verdure, et rien de plus. On foule « la terre aux pieds sans la voir; elle est si couverte d'herbes touf-« fues, d'arbustes, de lianes, de broussailles et de racines qui se « croisent en tout sens, qu'il faudroit un assez long travail pour en « découvrir l'espace d'un pied. *Au-dessous de Borja* (2), *et à 4 ou « 500 lieues au-delà en descendant le fleuve, un caillou est aussi « rare que le seroit un diamant. Les sauvages de ces contrées ne « savent ce que c'est qu'une pierre, n'en ont pas même l'idée. C'est « un spectacle divertissant de voir quelques uns d'entre eux, quand « ils viennent à Borja, et qu'ils en rencontrent pour la premiere*

(1) Dans les observations que j'ai faites sur cette riviere (Journal de physique, année 1783), j'ai montré que, dans une infinité d'endroits, les lits de cailloux roulés étoient séparés par des lits de coquilles quelquefois entieres, et plus souvent réduites en débris arrondis.

(2) Borja est situé à l'extrémité du fameux détroit de Pongo, et il est neuf fois plus éloigné de l'embouchure du Maragnon que des sources de ce fleuve.

« fois, témoigner leur admiration par leurs signes, s'empresser à « les ramasser, s'en charger comme d'une marchandise précieuse, « et bientôt après les mépriser et les jetter quand ils s'apperçoivent « qu'elles sont si communes. »

La plus puissante de toutes les rivieres, celle qui a sa source sur les plus hautes montagnes du globe, qui éprouve les crues les plus subites et les plus considérables, qui coule long-temps sur une pente rapide et forme souvent des chûtes effroyables, qui enfin paroît à peine pouvoir être contenue par des rochers énormes entre lesquels encore elle semble en divers endroits s'être ouvert un passage; cette riviere, dis-je, cesse donc d'avoir des cailloux lorsqu'elle n'a parcouru que la dixieme partie de la longueur de son lit. Cependant quel fleuve devroit en charier davantage et plus loin, si le transport de ces matieres ne dépendoit que du volume et de la rapidité des eaux! Malgré le nombre et la grandeur des rivieres que l'Amazone reçoit depuis Borja, il faut descendre à 500 lieues au-dessous pour trouver encore des cailloux sur ses rives: mais ces cailloux n'ont pas été amenés par elle, la nature les avoit formés dans les lieux où on les observe avant que ce fleuve y conduisît ses eaux.

Si ceux qui ont navigué sur les grandes rivieres avoient observé la nature de leurs atterrissements dans les différentes parties de leur cours, je ne doute pas qu'ils ne nous eussent fourni des observations semblables à celles que M. de la Condamine a faites sur l'Amazone. L'Orénoque, le fleuve Saint-Laurent, le Mississipi, le Nil, le Sénégal, la riviere de Zaïre, le Gange, en un mot tous les fleuves du monde, ne coulent à leur embouchure que sur du sable ou du limon. A mesure qu'on les remonte, les premiers cailloux qu'on observe ne viennent certainement pas de leur origine.

On me demandera peut-être d'où viennent les cailloux qu'on voit dans le Rhône jusqu'à Tarascon. Il y a peu de fleuves qui soient rapides et qui montrent des cailloux plus près de leur embouchure. On est ainsi naturellement porté à croire que le Rhône charie beau-

coup de graviers lors de chaque crue. Cette opinion est commune au peuple et aux savants (1); mais, en l'examinant avec la plus légere attention, on voit bien que c'est une erreur.

Le Rhône, après être descendu des Alpes, se perd dans le lac de Geneve. Je n'ai pas vu ce fleuve à cette premiere embouchure: je sais qu'il y forme des dépôts considérables; mais les auteurs qui m'ont instruit de ce fait ne disent pas s'il charie du gravier (2) jusques-là. Je ne pense pas que ses atterrissements soient autre chose que du sable ou du limon, et je regarde comme impossible que cela soit autrement. Cependant supposons qu'il amene une quantité immense de cailloux dans le lac de Geneve, ces cailloux n'en sortiront certainement plus; et le Rhône, ayant toujours des eaux limpides en recommençant son cours, n'en transporte jamais alors. Ce n'est donc pas à ses eaux qu'on doit attribuer tous ceux qui remplissent son lit et qui couvrent les plaines immenses qu'on voit sur sa rive gauche jusqu'à Lyon; il a donc trouvé ces graviers sur son cours. La Saône ne lui en amene certainement aucun. Il traverse ensuite les montagnes de Dauphiné et de Languedoc, et coule souvent sur des rochers. Il n'est pas surprenant qu'il ait alors des graviers dans son lit, d'autant mieux que les plaines et les cô-

(1) « Le Rhône, dans le temps de « ses grandes eaux, coule avec tant de « rapidité, que ses eaux entraînent des « cailloux que l'on voit et que l'on en« tend descendre et rouler sous ses « eaux: mais au-dessous d'Arles, où, « comme nous avons dit, le Rhône n'a « presque plus de pente, ces cailloux « disparoissent; on n'en voit pas un « seul. On me dit dans le pays que per« sonne n'avoit pu deviner ce que ces « cailloux deviennent; ce qu'on auroit « découvert aisément pour peu qu'on « eût voulu y faire attention. Tous les « cailloux s'arrêtent du côté d'Arles et « de Fourques, où les eaux, faute de « pente, n'ont plus la force de les en« traîner; les premiers arrêtent et ser« vent de barriere aux suivants ». *M. Pitot, Mém. de l'Acad. des Sciences.*

(2) M. Besson, dans son excellent discours sur l'Histoire naturelle de la Suisse, pag. 12, en parlant des atterrissements du Rhône à la tête du lac de Geneve, ne fait mention que des sables et des terres que ce fleuve y dépose journellement. Selon lui, ces nouveaux terrains sont ordinairement noirs et gras; tout y végete vigoureusement.

teaux qui sont sur sa rive gauche sont presque par-tout principalement formés de cailloux roulés. La Durance, n'ayant que des graviers extrêmement petits vers son embouchure, n'en peut pas fournir d'autres au Rhône. La Drôme et l'Isere ne doivent pas lui en amener davantage, quand même elles couleroient sur un sol aussi abondant en cailloux roulés que l'est celui de la Durance.

A Tarascon, le lit du Rhône est couvert de cailloux, et il s'en trouve de fort gros. En remontant ce fleuve, on observe bientôt qu'il est plus profond et que les cailloux sont beaucoup moins abondants sur ses bords. A une lieue au-dessous de Tarascon il n'y a plus de cailloux dans le Rhône. N'est-ce pas le cas de penser que les cailloux, qui sont si multipliés vis-à-vis de cette ville, sont le sol naturel sur lequel le fleuve coule, et qu'ils n'ont pas été amenés par lui? On ne peut guere se refuser à cette idée lorsqu'on sait que les eaux du Rhône ne peuvent pas produire des effets plus considérables que celles des autres fleuves, et qu'il trouve sur la plus grande partie de son cours des terrains formés de cailloux roulés. On en observe beaucoup dans le territoire de Tarascon. On en observe aussi beaucoup à Saint-Gilles. On connoît la Crau. Si le Rhône pouvoit couler sur quelqu'un des derniers endroits que je viens d'indiquer, il montreroit des cailloux dans son lit, sans qu'on pût conclure qu'il les eût amenés. D'ailleurs si, comme le croyoit M. Pitot qui prenoit le murmure continuel des eaux pour le bruit que produisoient les cailloux en roulant et se choquant; si, dis-je, le Rhône charioit des cailloux abondamment et continuellement, comme ces cailloux ont des limites qu'ils ne franchissent pas, ils éleveroient en fort peu de temps le lit du fleuve. Or les derniers cailloux répondent toujours au même espace, et le lit du Rhône ne s'éleve point. Ce fleuve n'a donc point amené les cailloux qui sont à Tarascon; c'est donc la nature qui les a placés sur son cours.

311. Question VI. Quelles sont les circonstances les plus favorables pour le transport des cailloux?

Il y a des exemples très multipliés et très connus qui prouvent

que les eaux courantes peuvent entraîner des pierres très grosses, quoique leur forme soit prismatique ou cubique, tandis que dans le même endroit elles ne déplacent pas des cailloux fort petits qui, ayant des surfaces beaucoup plus grandes relativement à leur masse, donneroient plus de prise à l'action des eaux, et qui d'ailleurs, ayant une forme arrondie, une surface polie, et ne portant sur le fond que par un petit nombre de points, présenteroient toutes les facilités pour être entraînés.

Les phénomenes prouvent aussi que le transport du gravier n'est pas un effet nécessaire de la rapidité des eaux. Ainsi, loin de chercher à faire sentir combien les fleuves peuvent aisément entraîner de cailloux, il faut au contraire deviner comment les cailloux peuvent se dérober, pour ainsi dire, à l'action des eaux.

Il ne suffit pas pour nous d'indiquer les faits, il faut remonter aux causes qui les produisent, et marquer toutes les modifications qu'ils peuvent éprouver. Ce n'est que par une analyse qui les concilie tous, que nous pouvons nous flatter d'avoir trouvé la vérité.

Il est nécessaire de montrer d'une maniere rigoureuse que les eaux n'ont pas besoin d'une grande vîtesse pour entraîner des cailloux; nous choisirons pour cela un cas beaucoup plus défavorable que ceux qui ont lieu communément.

Imaginons dans le fond du lit d'une riviere une pierre calcaire taillée en cube, assez polie, dont une des faces soit exposée au courant, et dont la pesanteur spécifique soit à celle de l'eau comme 25 à 10. En supposant que le pied cubique d'eau de riviere pese 70 livres, la pierre en pesera encore dans l'eau 105.

Il est sensible qu'il ne faut pas que l'eau produise un effort égal au poids qui reste au corps plongé pour qu'elle puisse l'entraîner. Il ne s'agit pas de vaincre la pesanteur de ce corps, puisqu'il est appuyé sur le fond de la riviere; on n'a à surmonter que la résistance du frottement. Or on évalue, dans les livres de méchanique, cette résistance au tiers environ du poids des corps qu'on veut déplacer; il suffira donc, dans le cas présent, que la force

d'impulsion de l'eau soit un peu plus grande que le tiers de 105 livres, ou que 35 livres. Or l'impulsion de l'eau sur une surface d'un pied quarré, avec une vîtesse de 6 pieds par seconde, équivaut à 43 livres; donc il ne faudroit pas que l'eau eût plus de 6 pieds de vîtesse par seconde pour entraîner le pied cubique de pierre calcaire.

La masse de pierre calcaire restant la même, plus sa forme approchera de la sphérique, moins elle aura de stabilité, et moins par conséquent il faudra de vîtesse à l'eau pour l'entraîner.

La masse de pierre calcaire diminuant, et sa forme ne changeant pas, il est évident qu'une vîtesse toujours moindre sera suffisante pour l'entraîner, attendu que les surfaces des solides semblables ne diminuent pas dans un aussi grand rapport que leurs masses. En effet, qu'on forme un cube de cette matiere dont chaque face soit un quart d'un pied quarré, l'impulsion que cette face recevra sera le quart de celle qu'éprouveroit une surface d'un pied quarré. Mais la masse du petit cube n'est que la huitieme partie de celle du pied cube. Les forces d'impulsion sur les deux cubes seront donc comme 1 à 4, tandis que les masses seront comme 1 à 8. Le petit cube sera donc entraîné deux fois plus facilement; et un caillou arrondi de même masse seroit entraîné beaucoup plus facilement encore.

Rien n'est plus ordinaire que de voir des rivieres dont les eaux parcourent plus de 6 pieds par seconde; et rien n'est plus rare que de voir dans leur lit des pierres qui aient 1 pied d'élévation, et dont la forme soit approchante de la cubique. Il est donc démontré rigoureusement que le transport du gravier et la rapidité des eaux sont des phénomenes indépendants.

312. Je fixe horizontalement, sur le fond d'un canal dont les eaux ont 3 ou 4 pieds de vîtesse par seconde, une planche unie; je place un caillou arrondi sur cette planche, et j'observe qu'il est tout de suite entraîné. Cet effet n'a rien qui doive me surprendre. Je représente par CI (*figure* 50) la direction et la grandeur de l'effort

que l'eau produit pour faire rouler le caillou B vers S, et par ID la résistance que le caillou peut opposer. Comme cette résistance ne peut être que fort foible lorsque le caillou est bien arrondi, je conclus qu'il n'étoit pas nécessaire que l'eau eût autant de vîtesse que je l'ai supposé pour entraîner ce caillou.

La vîtesse de l'eau et la masse du caillou B étant constantes; plus le caillou sera applati et sa dimension verticale moindre, plus il aura de stabilité, soit parcequ'il sera appuyé sur un plus grand nombre de points, soit parcequ'il présentera une moindre surface à l'impulsion de l'eau: mais s'il est ordinaire que les cailloux aient des dimensions inégales, il l'est peu qu'ils soient beaucoup applatis; ainsi ce n'est pas à cette forme qu'on doit attribuer la difficulté qu'ils éprouvent à être déplacés.

J'imagine un rebord à l'extrémité de la planche; il est évident qu'en y appliquant le caillou B, il ne sera point entraîné tant que les résistances du bord et du frottement excéderont la force d'impulsion.

Représentons-nous des cailloux de même grosseur disposés de file, il est évident que chacun d'eux sera soutenu par celui qui suit de la même maniere que le caillou D (*figure* 51) est soutenu par le rebord S: l'eau n'aura donc aucune action sur eux, quelle que soit sa vîtesse, pourvu que son mouvement soit parallele au fond.

Il est évident encore que ces cailloux ne seront pas déplacés, quoiqu'ils soient de grosseur inégale, et quoique leurs parties les plus élevées ne soient pas disposées sur le même plan, tant que l'effort que l'eau peut exercer sur leurs parties saillantes sera moindre que la résistance dont ils seront capables à raison de leur enracinement.

Les cailloux, disposés d'une maniere stable, comme il vient d'être dit, rendent le fond sensiblement uni. Aussi un caillou M (*figure* 51), placé au-dessus d'eux, et exposé au courant, seroit entraîné de la même maniere que le caillou B de la *figure* 50. Cependant, comme parmi les cailloux qui forment le fond il s'en

trouve qui sont plus élevés que les autres, il arriveroit bientôt que le caillou M en rencontreroit quelqu'un comme P (*figure* 52) qui l'arrêteroit. D'ailleurs, dans les rivieres, si le caillou M n'étoit pas arrêté par quelque autre caillou, il seroit bientôt dirigé hors du principal courant, et poussé quelque part où la force d'impulsion ne seroit plus suffisante pour le faire rouler.

On conçoit aisément que, si un caillou R (*figure* 53) éprouve l'action d'un courant rapide, il pourra acquérir une vîtesse suffisante pour rouler, non seulement sur un plan horizontal, mais encore sur un plan incliné en sens contraire du cours des eaux, et il pourra même franchir des digues élevées. Il est constant, en effet, que les digues n'arrêtent pas toujours les cailloux.

313. Lorsqu'on est dans le cas de conduire un volume d'eau un peu considérable sur un terrain qui ait peu de consistance, et qui ait une pente un peu grande, on pave le fond de ce canal; et si on veut conserver ses bords, on le revêt en maçonnerie. On pave toujours les chemins dans les endroits penchants, et dans ceux qui sont exposés au passage des eaux, lorsqu'on veut prévenir leur dégradation.

Les rivieres qui coulent sur du gravier passent sur un fond pavé naturellement. La disposition de ces cailloux n'est pas aussi réguliere que lorsqu'elle est l'ouvrage des hommes: cependant elle est telle qu'ils se soutiennent les uns les autres, et que ceux qui ont le plus de saillie sont cependant assez bien enracinés pour résister à l'impulsion de l'eau.

On se tromperoit si on croyoit que les cailloux qui sont répandus sur le fond du lit d'une riviere peuvent être facilement détachés du fond; lorsque cela arrive, c'est pour les cailloux qui ont été rejettés du courant principal et poussés sur les bords: mais, dans les points où répondent les grands courants, sur-tout dans les rivieres rapides, les cailloux sont fort adhérents, et il faut souvent des instruments de fer pour les détacher. Cet effet est une suite de la pression que les eaux exercent sur eux en coulant; pression qui doit

doit être énorme dans les grands fleuves à cause du volume de leurs eaux. Cette action peut être comparée à celle de la demoiselle que les paveurs emploient, ou à celle des cylindres qu'on fait passer sur les allées lorsqu'on veut donner au terrain plus de consistance. D'ailleurs les petits graviers et les sables que les eaux charient servent souvent à lier les cailloux entre eux et à les raffermir.

La disposition que prennent les cailloux n'est pas la même pour toutes les rivieres; il est évident qu'à proportion qu'elles ont moins de vîtesse, les cailloux ont besoin de moins de stabilité pour résister à l'impulsion de l'eau. Donc, toutes autres choses égales, plus les rivieres seront rapides, et plus le fond de leur lit sera uni.

Comme dans la même riviere la largeur du lit varie beaucoup, et comme la vîtesse des sections est en raison inverse de leurs grandeurs, le fond du lit doit être plus uni dans les endroits où il est plus resserré.

Les cailloux sont plus ou moins alongés, plus ou moins applatis; en général, ils prennent une position qui leur assure une plus grande stabilité: ainsi leur plus grande longueur est selon la direction du courant; ils présentent aux eaux celle de leur face qui a moins de superficie, et ils sont inclinés en aval.

On observe constamment dans tous les endroits où les bords sont invariables, et où le principal courant conserve toujours la même direction, que le fond du lit ne change point.

314. En supposant le mouvement des eaux parallele au fond, il est évident que la disposition des cailloux ne sauroit plus changer, dès qu'ils ont une fois résisté à la plus grande action que l'eau pouvoit exercer sur eux. Ainsi, dans le cas où une riviere qui couleroit sur des cailloux éprouveroit la plus grande crue et parviendroit à avoir la plus grande vîtesse possible, le fond devroit prendre alors une stabilité que les eaux, dans les crues égales ou plus foibles, ne devroient plus altérer.

Rien n'est cependant plus changeant que la disposition du fond d'une riviere qui coule sur des cailloux. Ce n'est pas que sa pro-

fondeur moyenne ne soit la même tant que la distance des bords ne change pas; mais le courant principal, après chaque crue, ne répond pas toujours au même espace. Il y a donc alors une partie des cailloux qui a été déplacée.

La stabilité des cailloux n'est donc que relative; ils prennent une position déterminée lorsque les eaux coulent au-dessus d'eux avec la plus grande vîtesse et parallèlement au fond. Ils conserveroient évidemment cette position, si la direction du courant ne changeoit pas; mais une crue foible qui succede à une crue beaucoup plus considérable occasionne souvent des dispositions que celle-ci n'avoit pas opérées. La stabilité des cailloux ne dépend donc pas seulement de la vîtesse du courant, mais encore de sa direction. En effet, on conçoit aisément qu'un caillou qui résisteroit à un courant rapide en ne lui présentant qu'une petite partie de sa surface, seroit déplacé par un courant moins fort qui pourroit agir sur lui plus directement et le déraciner. Il est donc essentiel de faire connoître les circonstances et les lieux qui permettent aux eaux d'agir obliquement contre le fond.

315. L'eau est évidemment dirigée contre le fond au-dessous des cataractes; c'est alors qu'elle forme des affouillements d'autant plus profonds, que son volume est plus grand, et que le sol sur lequel elle tombe est plus susceptible d'être corrodé: mais il n'est pas nécessaire que le fond d'une riviere cesse d'être continu pour que l'eau qui y coule puisse éprouver une véritable chûte. Cet effet aura lieu, 1°. toutes les fois qu'il entrera subitement dans le lit d'une riviere un volume d'eau considérable. Soit AB (*figure* 54) la hauteur de la partie antérieure de ce volume d'eau; quelle que soit la vîtesse qu'il a déja acquise, la pesanteur ou la pression ne laissera pas d'agir en AB, et occasionnera un écoulement. Puisque le niveau de l'eau s'abaissera, ce fluide se trouvera donc animé à la fois d'un mouvement vertical et d'un autre parallele au fond: il agira donc dans une direction moyenne entre celles que je viens d'indiquer.

Cet effet aura lieu, 2°. toutes les fois que l'eau, après avoir coulé dans un lit large, sera forcée par des obstacles à s'échapper par un lit plus étroit.

Cet effet aura lieu, 3°. toutes les fois que l'eau rencontrera des obstacles et s'élevera vis-à-vis d'eux en vertu de la vîtesse dont elle étoit animée.

Examinons à part les circonstances de cet effet dans les trois cas que nous venons de distinguer.

PREMIER CAS.

316. « Supposons (dit M. Belidor d'après Guglielmini et tous « les autres auteurs qui avoient écrit sur les fleuves) que, dans un « plan vertical, la ligne AB (*figure 55*) marque la surface du fleuve « coulant de A en B, et CD son fond; par conséquent la perpendi- « culaire EF pourra exprimer l'énergie de l'eau: or, si on prend sa « prolongée EI pour la hauteur d'où il faudroit qu'un corps tombât « pour acquérir une vîtesse égale et uniforme à celle du fleuve, elle « en marquera la force. Ainsi, faisant EG égale à EI, ensuite le pa- « rallélogramme EFHG, *la diagonale* EH *exprimera la force avec « laquelle le fleuve agira sur les parties du fond pour les détacher*, « puisque, selon notre supposition, sa profondeur est la même « par-tout, ainsi que sa tenacité ». *Archit. hydraul. tom. IV*, *pag.* 280.

Il suffit de connoître les premiers principes de la méchanique pour sentir la fausseté de la théorie que nous venons d'exposer. On suppose le cours de la riviere établi, et la hauteur du niveau de l'eau au-dessus du fond toujours la même. Ainsi toutes les colonnes, telles que EF, GH, sont égales, pesent de la même maniere sur le fond, et ne peuvent éprouver aucune chûte: puisqu'elles sont soutenues, la force de la pesanteur qui agit sur elles est détruite. L'eau n'obéit donc qu'à la force qui l'entraîne parallèlement au fond, et elle ne sauroit par conséquent agir obliquement contre lui dans la direction EH.

Mais si cette théorie est fausse lorsque le cours des rivieres est établi, elle ne l'est point dans l'instant où des eaux nouvelles entrent subitement dans leur lit. En représentant par AB (*figure* 54) la hauteur du volume d'eau qui entre subitement dans le lit d'une riviere, comme les différentes parties de la colonne AB ne sont pas soutenues et sont inégalement pressées, elles obéissent à la fois à la force qui les entraîne parallèlement au fond et à la pression que la pesanteur produit; de maniere que, dans l'instant suivant, la hauteur antérieure du volume d'eau sera représentée par une ligne CS moindre que AB. On voit ainsi clairement que le niveau de l'eau s'est abaissé, que par conséquent ce fluide a obéi réellement à la pesanteur, et qu'il a nécessairement agi contre le fond selon une direction moyenne entre celles des mouvements qu'elle a éprouvés.

S'il est évident que les eaux ne corrodent le fond que lorsque la direction de leur mouvement n'est pas parallele à ce même fond, il l'est également que le temps pendant lequel elles peuvent creuser leur lit est de peu de durée. Il en faut, en effet, très peu pour que la différence des niveaux entre des points peu éloignés cesse d'être sensible; et dès que les eaux coulent parallèlement au fond, elles cessent de le corroder, ou elles n'y déplacent des cailloux que dans les cas que nous avons marqués.

Dans le mémoire que j'avois adressé en 1778 à l'académie de Lyon, et où j'avois exprimé les premieres idées que j'avois eues sur la théorie des rivieres, j'avois appellé le mouvement composé dont les eaux sont animées au point où il afflue subitement un volume d'eau considérable, *mouvement d'ondulation;* mais en employant cette expression, j'avois moins prétendu donner une idée nette de l'action des eaux au commencement des crues, que donner un nom à l'état où elles se trouvoient dans l'instant où elles agissoient le plus efficacement contre le fond.

La direction et l'expression de cette force peut se trouver toutes les fois qu'on connoîtra la hauteur du volume d'eau qui arrive subi-

tement dans quelque point que ce soit d'une riviere; car, connoissant la hauteur du volume d'eau, il est aisé de déterminer dans un temps donné, pour une seconde, par exemple, la vîtesse moyenne produite par la pression: il est facile par conséquent de déterminer la hauteur de la section au point où répond la vîtesse moyenne. En retranchant la hauteur de cette section de la hauteur du volume primitif, on aura l'expression de la quantité dont le niveau de l'eau se sera approché du fond. En construisant donc avec les espaces parcourus horizontalement et verticalement dans une seconde de temps un parallélogramme, la diagonale indiquera la direction moyenne du fluide.

Plus la hauteur du volume d'eau qui entre subitement dans le lit d'une riviere sera considérable, plus la vîtesse moyenne produite par la pression augmentera; et comme la direction du mouvement de l'eau se fera toujours obliquement contre le fond, plus aussi elle aura de facilité et de puissance pour le corroder.

317. Les changements qui arrivent dans le fond du lit des rivieres sont donc produits dans un espace de temps fort court au commencement des crues; et la propriété que les rivieres ont de charier du gravier ne leur vient pas, comme tout le monde l'avoit cru jusqu'à présent, de l'élévation et de la rapidité que les eaux prennent dans leur lit. Toutes les fois que les crues se font lentement et par des progrès insensibles, à quelque élévation que les eaux puissent parvenir, on n'observe, après qu'elles se sont écoulées, dans tous les endroits où les bords n'ont pas été sensiblement dégradés, aucun changement dans le fond du lit, c'est-à-dire aucun déplacement ou transport de gravier. C'est là une vérité connue de tous ceux qui habitent les bords des rivieres, que j'ai eu souvent occasion de constater, et à laquelle personne ne peut se refuser, dès qu'on a été une fois convaincu que les rivieres cessent de déplacer des cailloux à mesure qu'elles sont parvenues à un état permanent; car dès qu'on suppose que leurs eaux ne s'élevent que par degrés insensibles, leur niveau sur une petite étendue est toujours parallele au

fond, et elles coulent par conséquent comme si leur état étoit permanent.

318. On éleve souvent dans les rivieres des digues qui barrent leur lit, et qui forment au dessus d'elles des affouillements plus ou moins profonds. Il n'est pas rare que les digues soient emportées : alors les eaux qu'elles soutenoient occasionnent en s'échappant les plus grands désastres ; elles déracinent les piles des ponts, les chaussées, etc. Leur action est précisément la même que celle d'un torrent enflé qui entre subitement dans le lit d'une riviere.

Je trouve dans M. de la Condamine un des plus beaux exemples qu'on puisse citer de l'effet que peuvent produire les eaux lorsque leur volume est considérable, et lorsqu'elles affluent subitement.

« Entre Macapa et le cap nord, dans l'endroit où le grand canal « du fleuve se trouve le plus resserré par les isles, et sur-tout vis-à-« vis de la grande bouche de l'Arawary, qui entre dans l'Amazone « du côté du nord, le flux de la mer offre un phénomene singulier. « Pendant les trois jours les plus voisins des pleines et des nouvelles « lunes, temps des plus hautes marées, la mer, au lieu d'employer « près de six heures à monter, parvient en une ou deux minutes à sa « plus grande hauteur. On juge bien que cela ne peut se passer tran-« quillement. On entend d'une ou de deux lieues de distance un bruit « effrayant qui annonce le *Pororoca* : c'est le nom que les Indiens « de ces cantons donnent à ce terrible flot. A mesure qu'il approche, « le bruit augmente, et bientôt l'on voit s'avancer une masse d'eau « de 12 ou 15 pieds de haut, puis une autre, puis une troisieme, « et quelquefois une quatrieme, qui se suivent de près, et qui oc-« cupent toute la largeur du canal ; cette lame chemine avec une « rapidité prodigieuse, brise et rase en courant tout ce qui lui ré-« siste. J'ai vu en plusieurs endroits des marques de ses ravages, « de très grands arbres déracinés, des rochers renversés, la place « d'un grand terrain récemment emporté ; par-tout où elle passe, le « rivage est net comme s'il eût été balayé ; les canots, les pirogues, « les barques mêmes, n'ont pas d'autre moyen de se garantir de la

« fureur de la *Barre* (c'est ainsi qu'on nomme le *Pororoca* à Cayenne) « qu'en mouillant dans un endroit où il y ait beaucoup de fond. J'ai « examiné avec attention en divers endroits toutes les circonstances « de ce phénomene, et particulièrement sur la petite riviere de « Guama, voisine de celle du Parà; j'ai toujours remarqué qu'il « n'arrivoit que proche l'embouchure des rivieres, et lorsque le « flot montant et engagé dans un canal étroit, rencontroit en son « chemin un banc de sable, ou un haut fond qui lui faisoit obstacle; « que c'étoit là et non ailleurs que commençoit le mouvement im- « pétueux et irrégulier des eaux, et qu'il cessoit un peu au-delà du « banc, quand le canal redevenoit profond ou s'élargissoit considé- « rablement. Je suppose que ce banc soit à peu près de niveau à la « hauteur où atteignent les eaux vives ou les marées des nouvelles « et pleines lunes. C'est à sa rencontre que le cours du fleuve doit « être suspendu, par l'opposition du flux de la mer qui forme un « courant opposé. C'est là que les eaux, arrêtées de part et d'autre, « doivent s'élever insensiblement tant que le courant peut soutenir « l'effort du flux, et jusqu'à ce que celui-ci l'emportant, rompe « enfin la digue et déborde au-delà en un instant. On dit qu'il ar- « rive quelque chose de semblable aux isles Orcades au nord de « l'Écosse, et à l'entrée de la Garonne aux environs de Bordeaux, « où l'on appelle cet effet des marées *le Mascaret* ». *Mém. de l'Acad. année* 1745, *pag.* 482.

319. On peut voir sur les bords de la mer, pour peu qu'elle soit agitée, des vagues élevées qui représentent à merveille l'état et l'effet des eaux des rivieres lors des crues subites; car, quoique ces vagues viennent se briser presque toujours sur un plan fort incliné en sens contraire de la direction de leur mouvement, elles y élevent et y déplacent continuellement des cailloux lorsque les bords de la mer en sont garnis. Cela a lieu d'une maniere plus marquée sur les bords de l'Océan, parceque les marées combinées avec les vents donnent naissance à des vagues fort élevées; aussi, lorsqu'elles se forment sur des fonds qui renferment beaucoup de cailloux,

elles les poussent sur la côte en très grande quantité (1).

320. On a connu l'effet de l'action oblique des eaux contre le fond, et on l'a employé avec le plus grand succès, mais sans savoir déterminer son intensité et les circonstances précises où il avoit lieu.

« On se sert très utilement des écluses pour curer et approfon-« dir les ports et chenaux : après les avoir chargées à marée haute, « on les ouvre quand elle est basse ; alors la chûte de l'eau qui se « fait avec précipitation emporte la vase et le sable qui se trouvent « dans son passage. Mais comme elle n'agit avec impétuosité que « sur le lit où elle coule à certains endroits du bassin ou du chenal, « et que les côtés ne s'en ressentent que foiblement, on a imaginé « des pontons pour curer un port par-tout également, par le moyen « desquels on dirige le courant de l'eau, selon que les lieux l'exi-« gent, pour y faire des fouilles très profondes ; en sorte qu'un « port où il n'abordoit que des petits bâtiments devient, par cette « manœuvre, praticable aux vaisseaux de guerre ». *Arch. hyd. tom. III, pag. 56.*

On peut voir dans le même ouvrage, tom. III, liv. II, chap. V, des détails étendus sur la maniere dont on a employé les écluses pour approfondir les ports et chenaux de Cherbourg, du Havre, etc. Comme la mer s'éleve en marée haute de 16 à 17 pieds dans ces endroits, on retient l'eau à peu près à cette élévation au moyen des écluses ; et lorsque la marée est basse, on ouvre les écluses.

(1) « On nomme *galets* certains « cailloux qui se détachent des fa-« laises, principalement depuis le Ha-« vre jusqu'à la Hève, où ils sont en « plus grande abondance que par-« tout ailleurs. La marée montante les « charie et les dépose à l'entrée des « jettées et dans l'embouchure de la « Seine ; ce qui arrive toujours lors-« qu'ils rencontrent des courants qui « les chassent d'un sens opposé à ce-« lui où ils sont portés. Il n'est pas « croyable à quel point les ports de « Normandie en sont incommodés ; « ils s'y amassent en si grande quan-« tité, que si les écluses ne leur don-« noient continuellement la chasse, « les ports en seroient bientôt tout-à-« fait barrés ». *Arch. Hyd. tom. III, pag.* 383.

On

On a ainsi des volumes d'eau très considérables qui entrent subitement dans un port ou dans un chenal dont elles corrodent le fond, et d'où elles emportent le sable, et le gravier même qui peut s'y trouver.

On observe cependant que l'action des eaux fournies par les écluses s'affoiblit toujours davantage à mesure qu'elle est exercée plus loin du lieu où elles ont commencé à couler. En effet, la hauteur verticale des eaux affluentes devient toujours moindre en s'éloignant de l'écluse, et leur force pour corroder le fond s'affoiblit ainsi nécessairement. On diminue cet inconvénient en plaçant de distance en distance des écluses sur la longueur d'un même chenal, et on les fait agir à la fois ou séparément selon les circonstances. Nous nous bornons à faire remarquer à nos lecteurs que l'effet des eaux dans un point quelconque n'est jamais plus grand que lorsque leur affluence est plus grande et plus subite. Voici quelques conséquences de nos principes.

1°. Dans la même riviere, une petite crue pourra occasionner plus de changement au fond du lit qu'une crue plus considérable, si celle-ci est moins subite.

2°. Dans la même riviere, la largeur du lit n'est pas constante. En supposant une affluence subite d'un volume d'eau déterminé, son action pour corroder le fond sera d'autant plus grande, que le lit sera plus étroit, et elle sera d'autant plus foible, que le lit aura plus de largeur. En effet, dans ce dernier cas, la hauteur des eaux affluentes sera beaucoup moindre.

3°. Comme les grandes pluies et les fontes de neiges considérables ont principalement lieu sur les montagnes, c'est là aussi qu'on doit observer les crues les plus subites, et c'est là encore que les eaux doivent occasionner plus de dégradations.

4°. L'action des eaux pour corroder le fond n'est sans doute jamais plus grande qu'au point où la crue est plus considérable et plus subite : mais ce point est unique et déterminé lors de chaque crue ; à mesure que les eaux s'en éloignent, leur élévation devient

toujours plus petite. Cet effet auroit nécessairement lieu, même dans le cas où le lit d'une riviere ne changeroit pas; mais cette riviere qui éprouve une crue va se perdre bientôt dans une autre riviere qui n'en a point éprouvé: elle trouve ainsi un lit plus large que celui où elle avoit coulé jusqu'alors, et cette disposition contribue encore à faire diminuer la hauteur des eaux affluentes. Ainsi les crues doivent être d'autant moins subites, qu'on les observe dans les lieux plus éloignés de ceux où elles ont commencé à se former.

5°. Il est évident que si deux rivieres se réunissoient à leur confluent dans l'instant où le volume de leurs eaux est plus élevé et plus subit, comme au-dessous du confluent le lit commun a ordinairement moins de largeur que n'en ont les deux lits pris séparément, il est évident, dis-je, que leurs eaux réunies deviendroient plus puissantes pour corroder le fond qu'elles ne l'étoient séparément; mais comme l'affluence des eaux est instantanée, ainsi que l'effet qu'elle est capable de produire, on sent combien il y a peu de probabilité qu'elle puisse avoir lieu à la fois dans le même point pour deux rivieres différentes.

6°. En comparant deux rivieres différentes, celle qui sera plus foible, soit par le volume, soit par la rapidité de ses eaux, pourra corroder le fond plus que l'autre. Ainsi une riviere ordinaire, lors d'une crue subite, pourra emporter plus de cailloux que le Rhône à Tarascon, non pas seulement lorsque ce fleuve est dans son état ordinaire, mais même lorsqu'il a éprouvé une crue très considérable.

321. Je ne puis m'empêcher de mettre sous les yeux des lecteurs un des exemples qui établissent de la maniere la plus lumineuse la vérité des principes que j'ai employés relativement à l'action des eaux contre le fond.

Le lit du Rhône est couvert de gravier à Tarascon; mais il n'en présente plus à une lieue et demie de cette ville, et ses eaux ne coulent ensuite que sur du sable. Si on jette les yeux sur une carte,

et si on observe le nombre, la grandeur et l'impétuosité des rivieres qui le forment, on aura de la peine à concevoir comment un lit si étroit et si étranglé peut absorber tous les tributs qui lui sont apportés : il ne peut recevoir les eaux de toutes les rivieres qui s'y jettent, sans que sa dépense ou sa rapidité ne soit très considérable; elle devient, pour ainsi dire, extrême lorsque ces rivieres grossissent à la fois, et lui impriment les mouvements tumultueux dont elles sont agitées : ses eaux s'élevent alors souvent à la hauteur des digues destinées à le contenir; elles les franchissent même quelquefois. Mais quoiqu'il dépense dans un instant tout ce qu'il reçoit dans les points plus élevés de son cours, quoique ses eaux aient la plus grande élévation, et peut-être la plus grande impétuosité qu'elles puissent acquérir, elles cessent de charier du gravier. Si elles ne produisent pas le même effet que de foibles torrents à leur origine, ce n'est pas que leur puissance puisse être comparée à celle de ces torrents, c'est qu'elles ne peuvent plus agir de la même maniere; elles ne peuvent emporter que ce qui peut retarder leur mouvement. Or l'élévation des eaux s'étant faite par degrés, elles n'ont éprouvé aucune chûte; leur vîtesse a pu augmenter, mais leur action est toujours restée parallele au fond : elle a été précisément et essentiellement la même que celle qui a lieu lorsque les eaux des fleuves sont parvenues à un état permanent.

SECOND CAS.

322. J'ai dit que les eaux éprouvoient aussi une chûte toutes les fois qu'après avoir coulé dans un lit large, elles étoient forcées par des obstacles à s'échapper par un lit plus étroit, et qu'elles pouvoient par conséquent alors corroder le fond.

Cette vérité a été établie solidement dans les principes; aussi nous nous bornerons à exposer à présent l'effet de l'action des eaux dans l'état que nous venons d'indiquer.

Si le lit des rivieres conservoit toujours la même largeur, les eaux ne pourroient guere charier et déplacer des cailloux qu'au

commencement de chaque crue, et principalement vers leur origine ; mais dès que la largeur du lit est variable, à proportion qu'elle deviendra moindre et que le changement sera plus subit, quelque éloigné qu'on soit de l'origine de la riviere, plus les eaux acquerront d'élévation à ce point, plus par conséquent leur chûte sera ensuite grande, ainsi que leur action contre le fond.

Il est évident que l'action dont je viens de parler n'aura pas lieu seulement au commencement de chaque crue, mais qu'elle se soutiendra avec la même énergie tant que les eaux conserveront la même élévation au-dessus du point où le lit se trouve plus étroit.

Il suit de là que, lorsque des eaux cessent de pouvoir charier du gravier au-dessus d'un rapide, elles auroient encore la puissance de produire cet effet à ce point s'il s'y présentoit des cailloux.

A mesure qu'on passe d'un endroit où une riviere est fort large à un autre où son lit est fort étroit, la chûte qui a lieu à ce dernier point occasionne toujours un affouillement, pourvu que le fond soit susceptible de corrosion.

La profondeur de cet affouillement augmente avec la hauteur des eaux, et à proportion que le fond a moins de tenacité.

Cet affouillement ne se fait jamais appercevoir sur une plus grande longueur que lorsque le lit conserve la même largeur au-dessous du rapide : mais, dans ce cas même, les eaux n'ont pas besoin de s'éloigner beaucoup de l'origine du rapide pour se mouvoir parallèlement au fond, dès que leur cours est établi ; par conséquent, à une petite distance du rapide, soit au-dessus, soit au-dessous, les eaux ne peuvent charier des graviers qu'au temps des crues.

Lorsqu'une riviere reprend au-dessous d'un rapide la largeur qu'elle avoit auparavant, elle reprend aussi alors sa premiere profondeur, de maniere que le fond est concave au point où le rapide existe.

Lorsqu'en construisant des ponts on multiplie les piles au point de diminuer considérablement la largeur d'une riviere, ces piles

font l'effet des digues, elles occasionnent un gonflement du côté d'amont et une chûte au-dessous de chaque arche, de façon qu'il se fait un affouillement vers les piles du côté d'aval qui les déracine quelquefois.

En parlant de la construction des ponts, nous rapporterons toutes les précautions qu'il faut employer pour assurer leur stabilité : il suffit pour le présent d'indiquer à nos lecteurs combien il est avantageux d'élever les ponts dans des endroits où les rivieres ont le plus de largeur, si on veut affoiblir davantage la cause qui produit des affouillements. Cette attention est essentielle dans les rivieres dont le fond est mouvant, soit que ce soit dans des points où elles peuvent éprouver des crues subites et considérables, soit que ce soit loin de leur origine, pourvu qu'elles puissent rassembler de très grands volumes d'eau.

On peut rapporter à cette seconde maniere d'agir des eaux l'effet que produisent les pontons qu'on emploie pour raser les atterrissements qui se forment sur différentes parties des ports et des chenaux.

323. Lorsque les eaux sont basses, la vîtesse dans l'affouillement est moindre qu'aux courants qui sont immédiatement au-dessus et au-dessous : mais, lors des crues, l'accélération commence à l'endroit où le lit est subitement resserré ; elle augmente avec la pente de l'affouillement, et elle est la plus grande au point où les eaux commencent à remonter. Cet effet se soutient tant que la vîtesse dont les eaux sont animées lorsqu'elles arrivent au lieu le plus profond de l'affouillement est suffisante pour les en faire sortir ; mais si elles ne peuvent franchir l'affouillement en vertu de leur vîtesse acquise, elles reviendront sur elles-mêmes, et leur niveau s'élevera jusqu'à ce qu'elles puissent dépenser au-dessous de l'affouillement autant de fluide qu'il y en entre.

On nous demandera pourquoi les affouillements dont nous venons de parler ne se comblent point. La réponse est aisée : les eaux cessent de pouvoir déplacer des cailloux au-dessus, tandis qu'elles

avoient encore la puissance d'en charier au point où l'affouillement commence; il est donc impossible que cet affouillement soit comblé si les bords ne changent pas.

On nous demandera encore si le fond ne parvient pas à avoir dans l'affouillement une aussi grande stabilité qu'au-dessus. La chose est indubitable : en effet, quelle que soit la direction selon laquelle l'eau agit le plus favorablement au point où l'affouillement commence et au-dessous, lorsqu'une fois le fond aura été disposé de maniere qu'il soit parallele, ou à peu près parallele à la direction de l'eau, il aura la même stabilité que s'il étoit horizontal, et que si, lors d'une crue, les eaux en affluant agissoient contre lui selon une direction semblable.

D'ailleurs, en supposant que la profondeur de l'affouillement augmentât toujours, le volume d'eau qu'il pourroit contenir seroit toujours plus considérable, par conséquent la vîtesse moyenne diminueroit, et les eaux qui resteroient toujours dans l'affouillement affoibliroient ou détruiroient même l'action de celles qui y entreroient. Lorsque des conduites d'eaux placées sur la même pente sont interrompues par des réservoirs un peu profonds, les eaux sont comme dormantes dans les réservoirs, et leur action est bien plus propre à déplacer des matieres étrangeres sur le fond des conduites que sur le fond des réservoirs. En effet, ceux-ci sont destinés à recevoir les dépôts et les immondices que les conduites ne peuvent arrêter.

TROISIEME CAS.

324. L'eau agira encore contre le fond toutes les fois qu'elle rencontrera des obstacles, et s'élevera vis-à-vis d'eux en vertu de la vîtesse dont elle étoit animée.

Lorsque la direction d'une riviere change subitement, plus l'angle que son lit formera approchera d'être droit, et plus ses eaux s'éleveront sur le bord qui se trouve exposé à leur impétuosité; mais lorsque leur vîtesse aura été épuisée, elles retomberont, et devien-

ront ainsi par leur chûte très propres à corroder le fond. On remarque aussi qu'il y a toujours des affouillements dans ces points. Quelquefois l'angle est aigu. Dans ce cas, si les bords peuvent être aisément dégradés, l'espace où se fait l'affouillement devient souvent très considérable; il s'y forme des tournants d'autant plus grands et plus dangereux, que les rivieres sont plus puissantes et plus rapides.

L'action des eaux contre le fond qui prend naissance à l'occasion des obstacles qu'elles rencontrent peut s'exercer au-dessus ou au dessous de ces obstacles. En général, à proportion que les obstacles ont moins d'élévation et que les eaux ont plus de vîtesse, l'action des eaux s'exerce davantage en aval des obstacles, et c'est de ce côté qu'ils sont affouillés. Le contraire arrive lorsque les eaux ne peuvent franchir les obstacles; dans ce dernier cas pourtant les affouillements commencent toujours par les côtés, parceque c'est là que les eaux cessent d'être contenues et qu'elles peuvent tomber librement.

Les digues qui barrent les rivieres sur toute leur largeur, et qu'on construit pour entretenir des canaux d'arrosage, etc. ne sont jamais détruites que du côté d'aval.

Lorsqu'il y a quelque pierre saillante ou quelque rocher un peu élevé sur quelque partie du lit d'une riviere rapide, au point où les eaux franchissent le rocher elles forment une vague qui en tombant occasionne un affouillement d'autant plus profond, que la chûte est plus considérable, que le volume de l'eau est plus grand, et que le fond est plus susceptible d'être corrodé.

325. Lorsqu'il se trouve, sur un fond qui ne peut pas être aisément corrodé, quelque pierre volumineuse qui n'a pas assez de stabilité pour résister à la force du courant, elle est nécessairement entraînée; mais si elle parvient à quelque partie du lit où le fond puisse être aisément corrodé, comme elle ne peut pas prendre la vîtesse du courant, les eaux qui passent au-dessus et à coté d'elle forment en tombant un affouillement dans lequel elle descend, et elle s'en-

fonce jusqu'à ce que la chûte qui peut se former au-dessous ne soit plus assez puissante pour l'affouiller au point de lui faire perdre sa stabilité.

J'ai vu plusieurs fois des pierres prismatiques et volumineuses placées sur des prairies et dans des parties du lit d'une riviere où le fond étoit solide, lesquelles, se trouvant exposées à l'action impétueuse des eaux lors d'une crue, avoient été emportées fort loin, et ne s'étoient arrêtées que dans des lieux où elles avoient pu s'enfoncer.

J'ai vu aussi, dans les mêmes circonstances, que des pierres placées sur des terres labourables ou sur du sable avoient été enterrées à l'endroit même, ou du moins très près de l'endroit où la crue les avoit trouvées.

Placez sur le bord de la mer, dans quelque endroit où il n'y ait que du sable, une pierre assez volumineuse pour ne pas obéir aisément à l'impulsion de l'eau; vous observerez, au retour de la premiere vague, que cette pierre sera affouillée et s'enfoncera; une seconde vague renouvellera le même effet; et la pierre disparoîtra même, si le sable est bien mouvant et profond, et si les vagues sont élevées.

326. Les digues construites en maçonnerie, et qui porteroient sur du gravier, ne seroient point emportées si elles avoient une épaisseur suffisante pour résister à l'impulsion de l'eau; mais elles n'auroient pas pour cela de la stabilité. En effet, elles pourroient être, 1°. à la fois surmontées par les eaux affluentes, et attaquées par leurs deux extrémités; dans ce cas, elles seroient affouillées en aval et des deux côtés: 2°. elles pourroient être contournées seulement, mais elles seroient toujours attaquées alors par les côtés: 3°. enfin elles pourroient être attaquées seulement par un côté, mais elles seroient toujours affouillées par-là.

Ce que nous venons de rapporter est plus que suffisant pour indiquer la maniere d'agir des eaux. Nous entrerons dans des détails plus étendus sur l'effet qu'elles peuvent produire, lorsque nous traiterons

traiterons de la meilleure construction et disposition des digues.

Des trois cas que nous avons distingués, et ensuite desquels les eaux des rivieres peuvent occasionner des affouillements, le premier va toujours en s'affoiblissant à mesure qu'on s'éloigne de l'origine des rivieres; mais le second et le troisieme peuvent être exercés avec la même énergie dans toutes les parties de leur cours.

SECTION XI.

De l'action des eaux contre les bords.

327. Les bords peuvent être considérés comme des digues; aussi toutes les fois que les rivieres viennent les choquer sans pouvoir les franchir ni les détruire, elles s'élevent vis-à-vis d'eux, et occasionnent en tombant des affouillements dont le nombre augmente avec celui des angles que forme la direction du lit.

La stabilité des bords croît avec la tenacité des matieres dont ils sont formés, et à proportion que le courant est plus foible.

Les bords ne sont jamais plus facilement corrodés que lorsqu'ils sont formés de sable pur; cependant il est très rare que les grains de sable ne soient pas comme cimentés avec du limon, et ils ont ainsi presque toujours une consistance assez forte.

Lorsque les eaux coulent parallèlement aux bords, quelle que soit leur vîtesse, elles ne font éprouver à ceux-ci d'autre action que celle qui résulte de la pression: dans ce cas, ils ne sont pas plus exposés à être dégradés que s'ils ne soutenoient que des eaux dormantes.

L'énergie de l'eau, pour dégrader les bords, augmente avec sa vîtesse, et selon que sa direction approche davantage de la perpendiculaire (1); cependant les bords ne sont ordinairement corrodés

(1) En observant des rivieres telles que la Seine, la Marne, la Saône, dont la pente est foible et le cours paisible, on peut être porté à croire que les sinuosités ne nuisent pas à la stabilité du lit; mais ces rivieres ne doivent

que dans le temps des crues. Il est bien rare que, lorsque les rivieres sont parvenues à leur état ordinaire, leur principal courant choque directement les bords, ou ait assez de force pour les dégrader.

Lorsque les eaux peuvent agir sur toute la hauteur des bords au temps des crues, elles les dégradent de la même maniere sur toute cette hauteur, si la tenacité des terres est la même. En effet, hors des circonstances où il se forme des chûtes, la vîtesse de l'eau est la même sensiblement dans tous les points d'un même courant. Or, la vîtesse et la direction de l'eau ne changeant point, l'énergie du choc doit être la même.

Il est plus ordinaire cependant que la tenacité des terres soit plus grande vers le fond; dans ce cas, les bords sont dégradés davantage à leur partie supérieure, et sont disposés en talut. Le contraire arrive lorsque la tenacité est moins considérable près du fond; les eaux forment des excavations à la partie inférieure, et les terres les plus élevées tombent moins par l'effet de l'action directe des eaux que parcequ'elles manquent de stabilité.

Il est très ordinaire de voir des excavations dans les points où les rivieres ont des bords élevés, au sommet desquels elles ne peuvent pas atteindre lors des plus grandes crues. En effet, il n'y a que les parties qui sont exposées au courant qui puissent être dégradées; celles qui sont au-dessus ne s'éboulent qu'autant qu'elles manquent de stabilité.

Les terres qui forment le bord des rivieres ont quelquefois peu de tenacité; et cependant les eaux cessent, après un certain temps,

---

être regardées que comme de grands canaux de dérivation, et elles ne ressemblent point à celles qui coulent dans des pays montagneux. Ces dernieres corrodent constamment les bords exposés à leur action; il n'y a jamais de stabilité aux coudes, à moins qu'on n'y établisse des revêtements bien appuyés sur des pilotis, ou qu'on n'y plante des arbres dont les racines puissent soutenir et défendre le terrain, et ces moyens sont souvent insuffisants.

d'attaquer celui des bords sur lequel elles avoient été auparavant dirigées. Mais cet effet n'arrive que parceque, vis-à-vis de l'endroit où un des bords a été fort dégradé, la riviere a acquis beaucoup de largeur, et parceque les eaux, en affluant sur un espace toujours plus grand, ont toujours moins de puissance pour corroder le fond et les bords : d'ailleurs, en affluant subitement, elles se forment quelquefois un lit différent de celui qu'elles occupoient.

SECTION XII.

De la situation du lit des rivieres.

328. « Pour l'ordinaire, dit M. de Buffon (1), les rivieres oc-
« cupent le milieu des vallées, ou plutôt la partie la plus basse du
« terrain compris entre les deux collines ou montagnes opposées. Si
« les deux collines qui sont de chaque côté de la riviere ont chacune
« une pente à peu près égale, la riviere occupe à peu près le milieu
« du vallon ou de la vallée intermédiaire; que cette vallée soit large
« ou étroite, si la pente des collines ou des terres élevées qui sont
« de chaque côté de la riviere est égale, la riviere occupera le mi-
« lieu de la vallée. Au contraire, si l'une des collines a une pente
« plus rapide que n'est la pente de la colline opposée, la riviere ne
« sera plus dans le milieu de la vallée; mais elle sera d'autant plus
« voisine de la colline la plus rapide, que cette rapidité de pente
« sera plus grande que celle de la pente de l'autre colline : l'en-
« droit le plus bas du terrain, dans ce cas, n'est plus le milieu de
« la vallée; il est beaucoup plus près de la colline dont la pente est
« la plus grande, et c'est par cette raison que la riviere en est aussi
« plus près. Dans tous les endroits où il y a, d'un côté de la riviere,
« des montagnes ou des collines fort rapides, et, de l'autre côté, des
« terres élevées en pente douce, on trouvera toujours que la riviere
« coule au pied de ces collines rapides, et qu'elle les suit dans toutes

(1) Théorie de la terre, *tom. II, pag.* 44.

« leurs directions, sans s'écarter de ces collines, jusqu'à ce que de « l'autre côté il se trouve d'autres collines dont la pente soit assez « considérable pour que le point le plus bas du terrain se trouve « plus éloigné qu'il ne l'étoit de la colline rapide. »

Il est rare sans doute que les rivieres n'occupent pas les parties les plus basses des vallées qu'elles traversent; mais si elles coulent plus constamment près de celui de leurs bords qui répond au terrain dont la pente est plus rapide, cela vient essentiellement de ce que ce bord ne pouvant être franchi au temps des crues, les eaux, en affluant subitement, s'élevent davantage vis-à-vis, et ont par conséquent plus de puissance pour corroder le fond. C'est par la même raison que, dans tous les points où il y a des coudes, on voit des affouillements d'autant plus profonds, que les sinuosités sont plus grandes et que les bords sont plus escarpés. Les rivieres ne dégradent pas leur lit lorsqu'elles peuvent le franchir aisément et se répandre librement au-delà, au lieu qu'elles semblent s'irriter par les obstacles; et lorsqu'une fois elles en trouvent sur leur direction, elles y sont d'autant plus long-temps fixées, qu'elles peuvent moins les surmonter.

SECTION XIII.

Du changement du lit des rivieres.

329. Les rivieres dirigées en ligne droite, sur-tout lorsque leurs bords sont garnis d'arbres, ne changent, pour ainsi dire, jamais de lit. Mais il n'en est pas ainsi de celles dont le cours est irrégulier; les changements qu'elles éprouvent sont complets ou incomplets: les premiers arrivent lorsque les eaux s'établissent dans un endroit où il n'en passoit point auparavant; les seconds ont lieu lorsque la riviere, en conservant la même position, s'étend davantage sur quelqu'un de ses côtés, ou à la fois sur ses deux côtés.

A mesure que le soc d'une charrue ouvre un sillon, la premiere motte qu'il détache seroit poussée en avant, si la motte suivante, qui n'est pas détachée encore, ne lui opposoit un obstacle insur-

montable et ne la forçoit de s'échapper par les côtés. La charrue ouvre ainsi la terre sans l'emporter. Les eaux produisent un effet entièrement semblable sur les cailloux toutes les fois qu'elles changent de lit. Quelque extraordinaire que puisse paroître d'abord cette assertion, elle est susceptible d'être présentée avec tant d'évidence, qu'il n'est guere possible de ne pas l'admettre comme un principe.

Soit ABC la direction du cours d'une riviere dont le plus fort courant soit établi vers la partie inférieure de la *figure 56*; supposons que l'espace compris depuis BC jusqu'en G ait été occupé en différents temps par la riviere, et qu'il soit couvert de cailloux; imaginons enfin qu'il arrive une crue subite et considérable dont l'effet soit de former aux eaux un nouveau lit dans la direction ADE.

Le changement du lit étant complet, on voit évidemment que les eaux ne peuvent pas pousser devant elles tous les cailloux qui se trouvent sur la nouvelle direction qu'elles suivent; car, si cela arrivoit, le volume de ces cailloux seroit bientôt si grand, qu'elles ne pourroient plus le franchir.

Les eaux, en se creusant un nouveau lit, s'établissent sur un terrain plus élevé que celui qu'elles occupoient, et cet établissement se fait nécessairement d'un seul trait par l'action subite et non interrompue des eaux affluentes, de la même maniere qu'un sillon est tracé par le mouvement continu d'une charrue; car si la résistance du terrain en DE pouvoit suspendre le mouvement des eaux, comme leur pente vers l'ancien lit seroit plus grande, elles s'y dirigeroient. Or il est évident qu'elles ne pourroient pas occuper à la fois l'ancien lit et creuser le nouveau; d'ailleurs le changement de lit ne peut avoir lieu qu'autant que le courant principal, au temps de la crue, se dirigeroit vers DE. En effet, si le plus fort courant restoit alors établi en BC, il n'y auroit aucune cause qui pût l'en faire sortir ensuite. Il est prouvé enfin que, hors les cas que nous avons marqués (§ 315), lesquels ne peuvent pas avoir lieu dans cette

circonstance, les eaux ne peuvent creuser sensiblement leur lit que lorsqu'elles éprouvent cette chûte qui est produite par leur affluence subite. Dès que la différence de leur niveau sur un petit espace cesse d'être sensible, le fond cesse d'être corrodé : les graviers qui étoient en DE ne peuvent donc point avoir été enlevés par l'action successive des eaux exercée pendant un temps considérable.

Le changement étant supposé complet, les cailloux ne pouvant pas suivre la direction des eaux, le creusement ne s'opérant que dans un espace de temps très court par l'action continue du courant principal, il est évident que l'effet des eaux peut être parfaitement assimilé à celui que produit une charrue. Lorsqu'on veut éloigner une riviere de l'un de ses bords BC et la faire passer dans un endroit couvert de graviers, tel que DE, on laboure ces graviers le plus profondément qu'on peut; on ouvre même des canaux dans ces amas de cailloux, et il est bien rare alors, lorsque les rivieres n'ont pas beaucoup de largeur, et lorsqu'elles peuvent éprouver des crues subites, qu'elles ne changent pas de lit : elles s'établissent là où se trouvoient les cailloux, et les cailloux sont accumulés là où les eaux étoient établies.

330. Celui qui diroit que les cailloux qui se sont accumulés à la place où se trouvoient les eaux, sont des cailloux apportés par la riviere, et différents de ceux qui se trouvoient vis-à-vis, diroit une grande absurdité : car, en supposant que les eaux eussent chassé devant elles les cailloux qui se trouvoient à l'endroit où elles se sont établies, tous ceux qui seroient venus d'amont ne seroient pas sortis de l'espace où le grand courant s'étoit établi ; ils n'auroient donc pas été poussés sur l'espace qui formoit l'ancien lit.

331. Les changements complets n'ont lieu que dans les grandes crues; ils sont plus ordinaires à proportion que le fond et les bords des rivieres sont susceptibles d'une moindre résistance, et que l'affluence des eaux est plus abondante et plus subite. Ainsi les changements complets seroient très communs si les rivieres, près de

leur origine, ne couloient que sur du sable ou du limon : mais il est rare que cela ait lieu ; et ce n'est guere que vers l'embouchure des rivieres que les bords et le fond de leur lit ne présentent que du sable et du limon. Cependant, quoique l'affluence des eaux dans cette partie de leur cours soit moins subite que dans les lieux plus élevés, les changements complets ne laissent pas d'y être fort communs. Le peu de résistance du sol influe sans doute beaucoup sur cet effet, mais il s'y forme aussi des chûtes de l'espece désignée (§ 322) ; et comme le volume des eaux est très grand, il est susceptible de produire des excavations énormes. Rien n'est si changeant que le nombre et la place des embouchures des fleuves : ce phénomene est très connu ; aussi je ne rapporte pas l'exemple suivant pour le constater, mais pour montrer combien les eaux ont de puissance pour s'établir un nouveau lit lorsque leur volume est grand, lorsque le sol a peu de tenacité, et combien on doit être attentif à éloigner dans ces circonstances les causes qui peuvent produire de pareils changements.

« Il y avoit autrefois sur la rive orientale du Rhône, à environ « une lieue et demie de son embouchure, un terrain plus bas que « le reste, où la mer venoit se rendre quand elle étoit agitée, y for- « moit plusieurs petits étangs qui n'étoient, en certains endroits, « séparés du fleuve que par une lisiere de terre qui lui servoit de « berge. Lorsqu'en été ces étangs se trouvoient à sec, le sel qui s'y « étoit déposé occasionnoit un grand faux-saunage. Voulant l'em- « pêcher, on coupa la berge pour laisser passer, à l'aide d'une écluse « fermée par une vanne, les eaux du Rhône dans ces étangs, et « noyer les sels. Cette écluse, qui ne devoit être ouverte qu'au be- « soin, n'ayant pas été fermée par négligence une nuit de l'année « 1711 que le Rhône reçut une crue subite, il y passa avec tant de « rapidité qu'il en emporta les bajoyers, et se fraya un passage qui « alla toujours en s'élargissant à cause de la facilité que la pente du « terrain donnoit aux eaux de s'écouler par un chemin plus court « et bien moins gênant que n'étoient les sinuosités de l'embou-

« chure du Rhône appellée *bras de fer* ». *Arch. hyd. tom. IV*, *pag.* 84.

332. Dans les rivieres dont le fond est couvert de cailloux, les changements complets arrivent aussi; mais il faut pour cela que les rivieres éprouvent des crues subites et considérables. On observe que la Durance, dans différents points de son cours, se trouve quelquefois établie, après une crue subite et considérable, dans des lieux auparavant couverts de cailloux, et assez éloignés de ceux qu'elle occupoit.

Cette riviere fournit dans ces circonstances une observation importante. En s'établissant complètement loin de l'endroit qu'elle occupoit, les graviers qu'elle souleve, en se formant de nouveaux bords, ne sont pas répandus loin: aussi son ancien lit ne se trouve pas comblé lorsque la crue a diminué; il reste ordinairement rempli pendant long-temps d'eaux croupissantes, et il faut souvent l'industrie des hommes pour en faire élever le fond et pour le rendre utile à l'agriculture.

333. Dans les rivieres qui ont peu de largeur, les changements de lit complets operent un bouleversement général; les eaux font l'effet d'une charrue qui ouvriroit un nouveau sillon à côté d'un autre qu'elle auroit tracé, et qui combleroit celui-ci des matériaux qui occupoient le vuide qu'elle vient de former: mais, dans les grandes rivieres, des changements complets peuvent laisser subsister l'ancien, ou les anciens lits, de la même maniere qu'un nouveau sillon tracé loin d'un autre sillon n'en altere pas la forme.

Cependant, même dans les rivieres les plus puissantes et les plus sujettes à des crues subites, les changements incomplets sont infiniment plus fréquents que les autres; ils sont d'autant plus sensibles, que les eaux ont plus de vîtesse, une action plus directe contre les bords, et que ceux-ci sont plus susceptibles d'être dégradés.

334. En résumant ce que nous avons dit relativement à la maniere dont les rivieres établissent leur lit, il est bien prouvé que les eaux peuvent en corroder le fond et les bords; que, toutes choses

égales,

égales, cette corrosion est d'autant plus prompte, que le fond et les bords ont moins de consistance; d'où il suit que les rivieres ont d'autant moins de stabilité, qu'elles coulent sur des matieres qui ont moins de tenacité. Cette conséquence est complètement justifiée par les phénomenes; mais elle est entièrement contraire aux principes que Guglielmini avoit établis. Selon cet auteur, les rivieres sont indomtables lorsqu'elles coulent sur un terrain graveleux; et elles sont infiniment plus aisées à gouverner lorsqu'elles sont établies sur un fond de sable. On peut remarquer, relativement à cette assertion, qu'il y a très peu de rivieres qui coulent sur du sable, si ce n'est lorsqu'elles approchent de leur embouchure: mais si, dans cet état, elles sont plus susceptibles de conserver leur stabilité dans quelques parties de leur cours, c'est parceque les crues n'y sont pas subites; car à leur embouchure même, où l'action des vents et l'agitation de la mer forment des obstacles qui donnent naissance à des chûtes, les changements de lit sont singulièrement fréquents. Il n'y a point de crue ou de tempête qui ne produisent la formation de quelque nouveau lit.

335. En général, lorsque le fond d'une riviere est couvert de cailloux, on peut compter que cette riviere ne s'approfondit plus; et plus ces matieres seront multipliées, moins elle aura de profondeur. Quoique le fond soit alors dans un état peu propre à être corrodé, la riviere pourra avoir pourtant peu de stabilité: mais cet effet ne vient point, comme le pensoit Guglielmini, de ce que cette riviere charie beaucoup de cailloux, mais bien de ce qu'elle a alors plus de facilité pour corroder les bords que le fond. Or la stabilité d'une riviere dépend à la fois de celle du fond et de celle des bords.

Les bords de la Durance sont formés, dans la plupart des plaines qu'elle traverse, du sable que les eaux pluviales ont amené des collines voisines, ou même des dépôts limonneux que cette riviere a formés antérieurement. Lorsque ses eaux viennent frapper contre ces bords foibles, elles les détruisent rapidement. Aussi il est constant que cette riviere n'a jamais un lit plus large que lorsqu'elle

traverse des plaines dont les terres sont fertiles. Si on veut conserver ces terres, il faut les revêtir de digues bien fondées; on assure par-là la stabilité des bords, comme les cailloux assurent celle du fond.

La Durance, le Verdon, le Var, l'Asse, etc. coulent sur un sol formé de cailloux roulés : aussi, dans toutes les parties du cours de ces rivieres où elles ne sont pas resserrées par des digues naturelles ou artificielles, leur lit a peu de profondeur.

336. Tous les torrents et toutes les rivieres qui coulent sur un terrain léger qui n'est pas garanti de l'action des eaux par des cailloux, approfondissent considérablement leur lit. L'Argens traverse d'abord des contrées où le tuf et le sable sont abondants; elle coule ensuite sur des rochers de mollasse et de granit tendre. C'est à cette organisation du terrain qu'on doit attribuer la profondeur du lit de cette riviere, qui est telle, que ses bords ne sont jamais franchis dans les plus grandes crues, excepté dans des endroits où elle est barrée par des rochers qu'elle ne peut corroder, et dans d'autres encore où, par des circonstances particulieres, elle coule sur un sol couvert de cailloux.

Je pourrois citer un grand nombre d'exemples d'approfondissements singuliers occasionnés par des rivieres dans des terrains tophacés, et dans d'autres formés de grès (1) et de granits tendres.

SECTION XIV.

Des isles.

337. Il se forme toujours des isles dans les parties du cours des rivieres où les bords peuvent être aisément corrodés, et où la lar-

(1) « Le pont de Bellegarde sur la « Valsime, à peu de distance à son « confluent avec le Rhône, est assis « sur un banc de mollasse que les « eaux avoient creusé de plus de 80 « pieds à l'époque de l'année 1778. « La comminution lente des deux ta« luts avoit tellement travaillé sous les « culées de ce pont, qu'elles se trou« voient en l'air; il a fallu le recons-

geur du lit devient par ce moyen plus grande qu'il ne seroit nécessaire pour l'écoulement des eaux qu'il peut recevoir. Si, dans un de ces endroits où la largeur de la riviere est devenue trop considérable, le courant principal se divise en deux, et si ces courants s'établissent sur les bords opposés, le sol sera plus haut dans l'intervalle qui les séparera; il s'élevera par degrés; on y verra naître des plantes et des arbres qui occasionneront de nouveaux dépôts, et il se formera ainsi une isle.

Il est évident que, si les bords principaux sont fort éloignés, et si le courant principal se divise en un grand nombre d'autres, ils donneront naissance à un grand nombre d'isles. On peut faire cette observation dans plusieurs parties du cours de la Durance.

Les grands fleuves présentent quelquefois des isles si étendues, qu'elles éloignent toute idée de formation successive; leur existence date du temps où ces fleuves ont commencé de couler.

Nous aurons encore occasion de parler des isles lorsque nous établirons des regles pour diriger les rivieres; il suffit d'indiquer à présent que la formation des isles dépend essentiellement de la facilité que les eaux ont de changer de cours. C'est pour cela qu'elles sont si multipliées dans les endroits où les bords ont peu de consistance et où le fond a beaucoup de stabilité: elles sont aussi fort nombreuses lorsque les eaux coulent sur des terrains dont la résistance est inégale, soit que les obstacles qui modifient leur mouvement aient été placés par la nature, soit qu'ils soient accidentels. Ainsi les rivieres qui coulent à leur origine sur un sol parsemé de rochers formeront beaucoup d'isles; il y en aura aussi à l'embouchure des fleuves, sur-tout lorsque leurs dépôts seront abondants, lorsqu'ils entraîneront jusques-là des arbres, et lorsque des tem-

---

« truire, et les ingénieurs ont eu la « précaution de jetter l'arc beaucoup « au-delà des deux bords, laissant, « pour ainsi dire, la part du temps « hors du point de fondation, et calculant la durée de cet édifice sur la « progression de cette comminution ». *Hist. nat. des minéraux, tom. II, pag.* 119.

pêtes fréquentes ou le flux et le reflux changerônt la direction des derniers canaux que les eaux puissent suivre.

SECTION XV.

Des effets des écluses, et de tous les autres obstacles qui alterent le cours des rivieres.

338. On donne vulgairement le nom d'écluses à des digues qui barrent en entier le lit des rivieres, et qui servent à faire refluer les eaux pour nourrir des canaux d'arrosage, ou pour donner le mouvement à des moulins, etc. elles sont ordinairement construites en maçonnerie. Le premier effet qu'elles produisent est d'élever le niveau de l'eau en amont du lieu où elles sont établies, et d'y former une espece de lac.

Lorsque la tête de l'écluse est horizontale, et lorsque les eaux s'échappent librement par-dessus, on peut déterminer aisément, à très peu près, la distance où s'étend le remoux, pourvu qu'on connoisse la vîtesse moyenne des eaux au-dessus du point où l'horizontale, qui passe par la tête de la digue, rencontre le lit de la riviere en amont. Nous avons vu (§ 231) qu'il devoit arriver rarement que le remoux s'étendît au-dessus de ce point, et nous avons marqué le cas où il devoit être plus voisin de la digue.

Comme les rivieres charient du gravier et du sable, il arrive souvent que l'espece d'affouillement ou de lac formé au-dessus d'une écluse se comble en partie. Il est évident que l'élévation du lit ne peut jamais s'étendre au-delà du point où l'horizontale, qui passe par le sommet de la digue, rencontre le lit de la riviere; car les eaux affluentes, en arrivant à ce point, y conservent toujours, quelle que soit la pente au-dessous, au même degré la propriété de charier du gravier ou du sable.

A proportion que le lit d'une riviere s'éleve davantage en amont d'une écluse, il faut donner à ses bords plus de hauteur si on veut prévenir les inondations; car si l'espace FAE (*figure* 40) étoit

comblé, la hauteur des sections sur la longueur AF, où la pente est détruite, seroit nécessairement plus grande que dans la partie supérieure où la pente ordinaire subsiste.

339. On peut empêcher aisément le comblement du petit lac de l'affouillement formé au-dessus de la digue; il ne s'agit pour cela que d'entretenir les bords sur tout l'espace où il s'étend de maniere qu'ils ne puissent pas être détruits. Lorsque les écluses sont construites solidement, et lorsque les bords sont aussi voisins que peut le permettre l'état de la riviere, le fond prend au-dessus de l'écluse une forme qui ne change plus, et la profondeur de l'affouillement est toujours la même. En effet, les changements qui pourroient y arriver ne peuvent avoir lieu qu'au temps des crues. Or, les bords ayant la plus petite largeur possible, les eaux affluentes y auront le plus de chûte qu'elles puissent avoir; et si elles amenent des cailloux dans cette partie de leur cours, elles les chasseront devant elles et leur feront franchir l'écluse.

Avec les précautions que nous venons d'indiquer, l'affouillement au-dessus de l'écluse subsistera toujours. On peut voir des exemples qui confirment ce que nous avançons dans une multitude d'endroits. Cet effet est le même que celui que présentent les affouillements ordinaires dans les parties du lit des rivieres où le lit est resserré : mais tout change si, au-dessus de l'écluse, les bords sont placés à trop de distance, ou s'ils sont détruits; alors les eaux, s'étendant davantage, ont moins de chûte, et elles déposent les corps qu'elles pouvoient charier dans les lieux où, en affluant, la hauteur des sections étoit plus grande.

340. Selon l'état où se trouve le lit d'une riviere en amont d'une écluse, elle présente des phénomenes très différents; et c'est pour n'avoir pas fait des distinctions essentielles, que Castelli est tombé dans de grandes erreurs. Cet auteur s'est trompé absolument lorsqu'il a dit que les eaux, en tombant librement du haut de l'écluse, accéléroient le mouvement de celles qui couloient au-dessus. Cette assertion est fausse, soit que le fond AEF soit comblé, soit qu'il

ne le soit point, et nous l'avons montré déja (§ 234).

Le même auteur a avancé que l'élévation à laquelle parvenoient les eaux au temps des crues près des écluses annonçoit des élévations beaucoup plus considérables à une certaine distance au-dessus.

Pour concevoir de quelle maniere cela peut avoir lieu, soit NAE (*figure* 40) le fond du lit d'une riviere; MN, BA, DE, la hauteur des sections. La vîtesse moyenne étant au moins égale à celle que pourroit produire la chûte libre de la hauteur des sections, si on barre la riviere au moyen d'une écluse FE, et si le fond FEA se comble, il est évident que la hauteur des sections augmentera au lieu de diminuer sur l'espace AF, parceque les eaux couleront alors sur une pente nulle; il faudra par conséquent élever les bords depuis A jusqu'en E au moins à la hauteur qu'ils ont de N en A, si on veut empêcher les eaux de sortir du lit au voisinage de l'écluse.

Mais il n'en sera pas de même, si le fond FEA ne se comble point, ou s'il se trouve en amont un affouillement APOF plus profond que le lit ordinaire AE de la riviere. Dans le temps des basses eaux, le fluide sera comme dormant au-dessus de l'écluse; mais, au temps des crues, les eaux, arrivant avec rapidité dans cet affouillement, auront souvent assez de vîtesse pour remonter au haut de l'écluse. Dans ce cas, leur surface pourra être plus basse que la ligne BD, excepté vers l'endroit où elles franchiront l'écluse, et elle ne s'élevera jamais à beaucoup près autant que lorsque le fond FAE est comblé: ainsi, les sections devenant vives, même dans l'affouillement, des élévations peu considérables de leur surface peuvent annoncer des élévations beaucoup plus grandes dans les parties supérieures du cours de ces rivieres. On n'est étonné de ce résultat que parcequ'on suppose involontairement que, lorsque l'affouillement existe, l'écoulement des eaux devroit être le même que si le fond FEA étoit comblé: or cela est très faux. Si, en P, la vîtesse moyenne est la même qu'en N, la hauteur de la section en P ne surpassera pas la hauteur de la section en N.

341. Les barres qu'on observe ordinairement à l'embouchure des rivieres font l'effet des écluses. En amont de ces barres il y a presque toujours des affouillements profonds : aussi, dans ce cas, au temps des crues, les inondations ne sont pas aussi fréquentes, ni l'élévation des eaux aussi grande près de l'embouchure des rivieres que dans les parties supérieures de leur cours. Cela vient de ce que les eaux, au temps des crues, sont coulantes près de l'embouchure sur toute leur profondeur ; et elles ne peuvent sortir de leur lit, parcequ'il est assez élevé pour contenir toutes celles qui s'y rendent.

« Les inondations, dit M. de Buffon, sont ordinairement plus « grandes dans les parties supérieures des fleuves que dans les par- « ties inférieures et voisines de leur embouchure, parceque, toutes « choses égales d'ailleurs, la vîtesse d'un fleuve va toujours en aug- « mentant jusqu'à la mer ; et quoiqu'ordinairement la pente dimi- « nue d'autant plus qu'il est plus près de son embouchure, la vîtesse « cependant est plus grande (1) par les raisons que nous avons rap- « portées. Le P. Castelli, qui a écrit fort sensément sur cette ma- « tiere, remarque très bien que la hauteur des levées qu'on a faites « pour contenir le Pô va toujours en diminuant jusqu'à la mer, « en sorte qu'à Ferrare, qui est à 50 ou 60 milles de la mer, les le- « vées ont près de 20 pieds de hauteur au-dessus de la surface ordi- « naire du Pô, au lieu que plus bas, à 10 ou 12 milles de distance « de la mer, les levées n'ont pas 12 pieds, quoique le canal du « fleuve y soit aussi étroit qu'à Ferrare ». *Théorie de la terre, tom. II, pag. 65.*

Nous avons déja remarqué que c'étoit une erreur de croire que la vîtesse des rivieres allât toujours en augmentant jusqu'à la mer, et qu'il falloit bien distinguer l'état des eaux, en delà de la barre qui existe ordinairement à l'embouchure des rivieres, de celui où elles

(1) Les causes de cette grande rapidité sont, selon M. de Buffon, la vîtesse acquise, l'action et le poids des eaux supérieures.

sont en amont de cette barre. Nous avons fait voir aussi (§ 130) que les eaux près de l'embouchure des rivieres ne pouvoient pas soutenir le poids des eaux supérieures. Ainsi le fait que cite M. de Buffon d'après Castelli n'est pas bien expliqué ; il auroit de quoi étonner si la profondeur du Pô, là où les digues n'ont que 10 pieds d'élévation, n'avoit pas plus de profondeur que dans les lieux où on est obligé, pour empêcher les inondations, de donner 20 pieds d'élévation aux digues. Mais cela est impossible ; et le merveilleux de ce fait auroit disparu, si Castelli n'avoit pas omis de faire mention des profondeurs du Pô aux lieux qu'il compare, lesquelles sont certainement plus grandes à mesure que le fleuve approche de son embouchure.

A Beaucaire, le Rhône sort plus aisément de son lit, malgré les digues destinées à le contenir, qu'à Arles où ce fleuve n'a que les bords qu'il s'est formés. Cela ne prouve point que la vîtesse des eaux soit plus grande à Arles qu'à Beaucaire. J'ai mesuré au temps des basses eaux la vîtesse du plus fort courant près de chacune de ces villes. A Beaucaire, cette vîtesse étoit de près de 8 pieds par seconde, tandis qu'à Arles elle n'étoit que de 4 pieds et demi. Je ne doute pas que, lors des grandes crues, la vîtesse ne soit toujours plus grande à Beaucaire : mais le Rhône ne sort pas si facilement de son lit à Arles, parceque ce lit y est beaucoup plus profond qu'à Beaucaire, lors même que les eaux parviennent, près de cette derniere ville, à leur plus grande élévation.

342. Lorsqu'on craint que le remoux ne s'étende trop loin, et que les affouillements qu'on forme au-dessus des écluses ne se comblent et n'occasionnent de cette maniere des inondations, on ne donne pas la même hauteur aux écluses sur toute la largeur des rivieres. Dans le temps des basses eaux, on emploie des vannages pour soutenir les eaux à la hauteur qu'on desire.

343. Lorsqu'on construit des ponts, on diminue ordinairement beaucoup la largeur des rivieres, et il n'est pas inutile de savoir alors à quelle hauteur les piles contribuent à faire hausser le niveau des eaux.

Si

Si la chûte en aval du pont étoit libre, et si on connoissoit au temps des crues la largeur, la hauteur et la vîtesse moyenne de la riviere au point où le pont doit être établi, on pourroit trouver à peu-près par la théorie la hauteur à laquelle les arches feroient remonter le niveau des eaux en amont du pont: mais la chûte des eaux sous les arches n'est pas complete, et il est impossible de déterminer la vîtesse moyenne d'une riviere au temps des crues. On ne peut rien faire de mieux alors que d'étudier cette riviere dans des lieux où ses bords soient naturellement aussi rapprochés qu'ils le doivent être par la construction du pont; on ne s'exposera pas à tomber dans des écarts considérables, et l'observation sera un meilleur guide que le calcul.

344. Il est évident que plus la largeur des arches approchera d'être égale à celle de la riviere, moins l'élévation des eaux en amont du pont sera grande. Cet effet sera détruit lorsque la largeur des arches égalera celle de la riviere en amont et en aval. Enfin les eaux baisseront sous le pont, si la largeur des arches est plus grande que celle de la riviere en amont.

345. Si, en diminuant la largeur des rivieres ou des canaux, on force les eaux de prendre un niveau plus élevé, on produit un effet contraire en détruisant les bords et en rendant plus considérable la largeur de ces rivieres ou de ces canaux.

Les principes relatifs aux saignées et aux dérivations sont exactement opposés à ceux qui peuvent produire l'élévation du niveau des eaux; seulement, sous même pente, l'élévation des eaux dans des canaux de dérivation sera plus grande qu'elle ne devroit être, parceque l'effet des obstacles et des frottements devient considérable à proportion que le volume des eaux est moindre.

L'effet des saignées, pour être marqué, exige que le canal de dérivation ait une grandeur considérable relativement à celui de la riviere.

346. Quoique la vîtesse des grandes rivieres soit souvent fort considérable au temps des crues, il s'en faut de beaucoup qu'elle

soit égale à celle qui pourroit être produite par la chûte libre de la hauteur des sections. Il est donc évident qu'à proportion qu'on rendra la chûte des eaux plus complete, on fera baisser davantage leur niveau. Le Rhône, au-dessous de Tarascon, indépendamment de ses bords ordinaires, est contenu par des digues élevées. On m'a assuré que, lorsque ses eaux s'élevoient à une trop grande hauteur et exposoient la ville à être inondée, des paysans faisoient clandestinement quelques petites ouvertures aux digues. Les eaux augmentoient rapidement ces breches, détruisoient les chaussées sur de très longs espaces: leur écoulement devenant plus libre, leur niveau en amont s'abaissoit. La ville étoit ainsi garantie, ou du moins les dangers qu'elle couroit diminuoient; il est vrai que cela se faisoit aux dépens du terroir d'Arles, qui étoit nécessairement inondé.

SECTION XVI.

De l'embouchure des rivieres.

347. Les grandes rivieres cessent de montrer des cailloux longtemps avant de parvenir à leur embouchure. Si quelquefois, lorsqu'elles sont sur le point de mêler leurs eaux avec celles de la mer, elles coulent sur des matieres pareilles, on doit considérer ces graviers comme le sol naturel de ces rivieres, et non comme des corps qu'elles aient amenés. Ces corps seroient sans doute souvent fort multipliés à l'embouchure des rivieres, si leur transport dépendoit simplement de la rapidité des eaux, ainsi qu'on l'avoit cru jusqu'à présent: mais ce principe n'est pas admissible. Guglielmini, qui l'avoit établi, n'étoit parvenu à le concilier avec les phénomenes qu'en supposant que les cailloux étoient toujours réduits en sable avant de parvenir à l'embouchure des fleuves.

Le P. Frisi, en rejettant les idées de Guglielmini sur la destruction des cailloux, convenoit que les fleuves en charieroient près de leur embouchure, si les eaux n'avoient pas perdu dans la partie supérieure de leur lit une vîtesse suffisante pour les amener jusques-

là : mais cette supposition est bien gratuite. Il y a sans doute beaucoup de fleuves qui ont une grande vîtesse lorsqu'ils sont voisins de leur embouchure : mais leur vîtesse est toujours plus considérable dans les parties supérieures de leur cours. En effet, comment concevoir que le même volume d'eau perde sa vîtesse lorsque le lit où il coule a encore quelque pente pour reprendre cette vîtesse lorsque la pente est détruite, c'est-à-dire lorsque la principale cause de son mouvement n'existe plus ?

348. Si les fleuves, en entrant dans la mer, trouvoient ses eaux toujours tranquilles, leur lit n'éprouveroit pas plus de changement à l'embouchure même que dans les parties supérieures où le fond et les bords ne sont formés que de sable et de limon. En effet, il n'existeroit aucune cause qui pût altérer davantage leur direction, lorsqu'elles seroient sur le point de cesser d'être contenues, que dans les autres points supérieurs où elles ne pourroient agir que sur des matieres de même tenacité. Mais il s'en faut de beaucoup que les eaux de la mer soient dans un repos constant ; elles sont souvent soulevées par des vents impétueux, et la hauteur de leur niveau change, soit par l'action des tempêtes, soit par celle du flux et du reflux, soit enfin par le concours de ces causes.

Sur nos côtes, le flux et le reflux ne sont pas sensibles, et la plus grande élévation à laquelle les vents forcent les eaux de parvenir n'excede guere 4 pieds : mais quoique cette élévation ne soit pas bien considérable, la violence avec laquelle les vagues de la mer viennent se briser sur la côte est suffisante pour changer la position des bancs de sable et de limon que les rivieres déposent à leur embouchure, et pour en former des barres qui suspendent, pour ainsi dire, le cours de ces rivieres, leur font perdre leur profondeur, les rendent souvent inutiles à la navigation, les dépouillent de leur majesté, et, les forçant de s'échapper par une infinité d'issues, les réduisent à terminer leur cours comme elles l'ont commencé. Chacune de leurs embouchures offre l'image des premiers ruisseaux qui les formerent.

349. Le Rhône est sans contredit un fleuve très rapide ; il éprouve des crues subites et considérables, et il amene à son embouchure une si grande quantité de sable et de limon, qu'il force la mer de reculer sensiblement ses limites : mais les dépôts qu'il forme à son embouchure, repoussés par les eaux de la mer, interrompent souvent son cours au point de rendre sa navigation très périlleuse, et de la suspendre même tout-à-fait.

350. A proportion que le volume des eaux que reçoit une riviere est moins grand, la barre qui se forme à son embouchure par l'effet de quelque tempête est plus élevée, et par conséquent la chûte des eaux est ensuite plus considérable.

Le Loup (1) entre dans la mer près d'Antibes sur un terrain formé de cailloux roulés. Lorsque des vents d'Est violents regnent sur cette côte, les flots accumulent de fort grandes masses de cailloux à l'embouchure de la riviere, de maniere que son cours est comme barré sur presque toute sa largeur : ses eaux ne s'échappent communément que par une petite ouverture, et forment un canal étroit qui a deux ou trois pieds de pente sur une petite étendue ; ce qui fait qu'elles coulent avec une très grande rapidité lorsque la mer s'est retirée, et pourroient servir à mouvoir des moulins, si la position de leur lit n'étoit pas sujette à trop d'instabilité.

351. Les barres qui se forment à l'embouchure de presque toutes les rivieres présentent exactement les mêmes phénomenes que les digues ordinaires ; elles laissent en amont un affouillement, et elles offrent une chûte en aval. On voit aussi que l'endroit où le mouvement des eaux commence à s'accélérer est au-delà de la barre. Par conséquent, lorsqu'on a dit, dans tous les livres qui ont été faits sur les fleuves, que leur vîtesse augmentoit à mesure qu'ils approchoient de leur embouchure, on s'est trompé évidemment, parcequ'on n'a pas distingué l'état des eaux en amont des barres de celui où elles étoient en les franchissant et après les avoir fran-

(1) Nom d'une riviere assez considérable.

chies. Là leur vîtesse moyenne, selon que leur lit ou l'affouillement est plus profond, est beaucoup moins considérable qu'ici où la hauteur des sections est moindre, et la pente assez grande sur un petit espace.

Il est évident que la chûte des eaux en aval de la barre est d'autant plus complete, que celle-ci est formée de matieres plus tenaces et qu'elle est plus élevée. Quant à la rapidité des eaux, on voit qu'elle doit varier beaucoup; cela dépend de la profondeur et de la pente du canal qu'elles suivent: or ces objets sont sujets à des variations infinies.

352. Les barres sont d'autant plus élevées, que les eaux des rivieres s'échappent par un plus grand nombre d'issues, et que le fond de la mer a moins de profondeur à l'endroit où répondent les embouchures.

Lorsque le Rhône entroit par le *Bras de fer*, ses eaux se perdoient dans des endroits où il n'y avoit que de très bas fonds; aussi les progrès de ses atterrissements étoient alors fort lents, et sa navigation n'étoit jamais interrompue par le défaut de profondeur de ses eaux: mais depuis que le Rhône s'est considérablement approché de l'Est à son embouchure, comme la côte est basse dans cet endroit, ses atterrissements élevent sensiblement le fond dans des espaces de temps fort courts, et ce fleuve a souvent peu de profondeur lorsqu'il mêle ses eaux avec celles de la mer.

353. La formation des barres est due au choc des eaux des fleuves contre celles de la mer, et leur position change selon que les premieres sont plus ou moins puissantes que les secondes. Dans la Méditerranée, les fleuves ne présentent des changements à leur embouchure qu'après des crues ou après des tempêtes; mais, dans l'Océan, ces causes sont encore modifiées par le flux et le reflux.

Les barres ne sont pas seulement formées des sables et du limon que les rivieres charient; la mer, en s'élevant sur les côtes par le flux, sur-tout lorsqu'elle est agitée par des vents impétueux, charie aussi des sables et des graviers, s'il s'en trouve sur son fond, et surtout si le fond a peu de profondeur.

354. On voit aisément que les circonstances les plus favorables pour empêcher la formation des barres sont que les rivieres charient peu de sable, que le volume de leurs eaux ait plus de hauteur que de largeur, et enfin essentiellement que le fond de la mer à l'embouchure ait beaucoup de profondeur, et soit formé de matieres que ses eaux déplacent difficilement. Ce sont ces dernieres circonstances qui sont les plus avantageuses, parcequ'elles ne peuvent être que l'ouvrage de la nature. Si la Charente, ainsi que d'autres rivieres médiocres, offrent une entrée libre aux vaisseaux de ligne, c'est qu'elles entrent dans une mer profonde que leurs atterrissements ne peuvent combler; au lieu que des fleuves fort puissants reçoivent à peine des barques à leur embouchure lorsqu'ils se perdent sur des plages où la mer a peu de profondeur.

Voici quelques exemples des barres qui sont à l'embouchure de la plupart des grands fleuves qui entrent dans l'Océan, et des effets qu'elles produisent.

L'Orénoque entre dans la mer par plus de cinquante embouchures. Il y a une chûte près de chacune d'elles, de maniere que les eaux y ont beaucoup d'impétuosité. « Le premier navigateur (1) « qui reconnut cette riviere donna le nom des *Dragons* à celle de ses « embouchures qui est la plus étroite, et qui est si dangereuse, qu'à « chaque vague qui s'éleve on est exposé à faire naufrage. En 1535, « trente-sept ans après cette premiere découverte, Diego de Ordas « voulut entrer dans les embouchures de l'Orénoque; mais tous ses « efforts n'aboutirent qu'à lui faire perdre une partie de ses vais- « seaux et de ses équipages. Le mauvais succès de cette entreprise, « loin de décourager Herréra, ne fit au contraire que l'animer da- « vantage; il brusqua l'entrée de ces embouchures, etc. » *Hist. de l'Orénoque, pag.* 12, 32, 33.

« Dans les anses que forme la côte depuis Panama jusqu'à la « pointe de Santa-Helena, particulièrement dans celles où il y a

(1) Christophe Colomb.

« des embouchures de rivieres, il est dangereux de trop s'avancer « vers terre à cause des basses qu'il y a ». *Voyage au Pérou de Don George-Juan, tom. I, pag.* 139.

« Un peu au-dessous de la Nouvelle Orléans, le terrain com- « mence à n'avoir pas beaucoup de profondeur des deux côtés « du Mississipi, et cela va toujours en diminuant jusqu'à la mer. « C'est une pointe de terre qui ne paroît pas fort ancienne, car, « pour peu qu'on y creuse, on y trouve l'eau; et la quantité de « battures et de petites isles qu'on a vues se former depuis vingt ans « à l'embouchure du fleuve, ne laisse aucun doute que cette langue « de terre ne se soit formée de la même maniere. Il paroît certain « que, quand M. de la Salle descendit le Mississipi jusqu'à la mer, « l'embouchure de ce fleuve n'étoit pas telle qu'on la voit aujour- « d'hui.

« Plus on approche de la mer, plus ce que je dis devient sen- « sible; la barre n'a presque point d'eau dans la plupart de ces pe- « tites issues que le fleuve s'est ouvertes, et qui ne se sont si fort « multipliées que par le moyen des arbres qui y sont entraînés avec « le courant, et dont un seul, arrêté par ses branches ou par ses « racines dans un endroit où il y a peu de profondeur, en arrête « mille. J'en ai vu à deux cents lieues d'ici des amas dont un seul « auroit rempli tous les chantiers de Paris: rien alors n'est capable « de les détacher; le limon que charie le fleuve leur sert de ciment et « les couvre peu à peu; chaque inondation en laisse une nouvelle « couche, et après dix ans au plus, les cannes et les arbrisseaux « commencent à y croître. C'est ainsi que se sont formées la plu- « part des pointes et des isles qui font si souvent changer de cours « au fleuve ». *Histoire de la Nouvelle France du P. Charlevoix, tom. III, pag.* 440.

« Nous nous trouvâmes peu de temps après au milieu des passes « du Mississipi. Il y faut manœuvrer avec bien de l'attention *pour « n'être pas entraîné dans quelqu'une,* d'où il seroit presque im- « possible de se tirer; la plupart ne sont que de petits ruisseaux,

« et quelques unes même ne sont séparées que par des hauts fonds « presque à fleur d'eau. C'est la barre du Mississipi qui a si fort mul- « tiplié ces passes; car il est aisé de concevoir, par la maniere dont « j'ai dit qu'il se formoit tous les jours de nouvelles terres, comment « le fleuve, cherchant à s'échapper par où il trouve moins de ré- « sistance, se fait un passage tantôt d'un côté, tantôt d'un autre: « d'où il pourroit arriver, si l'on n'y prenoit garde, qu'aucune de « ces issues ne fût praticable pour les vaisseaux ». *Ibid. pag.* 442.

« L'embouchure du Sénégal est large d'une demi-lieue; mais « elle est masquée par une barre, ou un banc qui s'est formé de « l'abondance du sable que le courant y amene, et qui est repoussé « par la marée. L'entrée de cette riviere seroit inaccessible, si la « force de son cours et celle de la marée n'avoient ouvert deux « passages, dont le plus large est ordinairement de 150 ou 200 « toises sur 2 toises de profondeur. . . . . . Ces deux ouvertures « changent tous les ans de situation. . . . . . Après avoir passé la « barre, on trouve une riviere d'une belle largeur, d'une eau fort « claire et fort unie, dont le cours est aussi agréable que l'entrée « en a paru difficile. Sa profondeur est depuis 18 pieds jusqu'à 25 ». *Hist. des Voyages, tom. II, pag.* 448.

« L'embouchure de la Gambra est traversée par une espece de « barre. La marée remonte jusqu'à 200 lieues dans la saison de la « sécheresse. . . . . Au temps des pluies, l'eau s'enfle de 30 pieds; « on ne trouve alors aucun obstacle dans les basses ». *Ibid. tom. III, pag.* 9, 36.

SECTION XVII.

De la meilleure maniere de diriger les torrents et les rivieres.

355. On peut avoir différents buts en changeant le cours des rivieres. Si elles étoient trop rapides et si on vouloit les rendre navigables, il faudroit leur donner un cours plus long et diminuer ainsi leur pente, afin de leur faire perdre le plus qu'il seroit possible de leur vîtesse. On ne considéreroit point alors les inconvénients

nients que la nouvelle direction pourroit occasionner relativement à la stabilité du lit, et on sacrifieroit tout à l'objet essentiel qu'on auroit en vue. On tiendroit une conduite semblable si on étoit dans le cas d'éloigner l'embouchure d'une riviere, d'un port, afin d'empêcher que les eaux courantes n'y formassent des dépôts au temps des crues, etc.

356. Mais si, en dirigeant une riviere, on n'avoit d'autre but que de prévenir ou de diminuer les ravages qu'elle peut occasionner, on auroit alors des regles importantes à suivre. Sous ce point de vue, les rivieres sont des déchargeoirs qui présentent des eaux toujours inutiles et souvent dangereuses. On doit donc choisir, parmi les directions qu'on peut leur tracer, celle qui leur assure un cours plus prompt. En ménageant à leur lit le plus de pente qu'il sera possible, on procurera aux eaux la plus grande vîtesse qu'elles puissent avoir. On est ainsi conduit à prescrire de diriger les rivieres en ligne droite.

Il ne suffit pas de connoître la direction qui assure aux eaux la plus grande vîtesse, il est essentiel aussi de connoître la direction qui prévient davantage la dégradation des bords et altere moins la stabilité du lit. Or celle qui est en ligne droite remplit encore cette condition.

L'espace occupé par une riviere est entièrement perdu; et il est d'autant plus grand, que le cours des eaux présente des sinuosités plus multipliées. On peut donc conserver à l'agriculture beaucoup de terrain en dirigeant les rivieres en ligne droite.

Il faut des dépenses et des soins pour entretenir la stabilité d'une riviere; mais les points de défense ne seront jamais moins nombreux que dans le cas d'unité de direction, et il ne sera jamais plus aisé de garantir les bords.

Dans une riviere qui a beaucoup d'inflexions, le fond du lit est essentiellement fort inégal; il est concave aux coudes (1) et convexe

(1) Selon M. de Buat, « l'expérience prouve que, quand l'eau a travaillé

dans l'intervalle qui les sépare; les eaux sont forcées continuellement de changer de direction; elles sont comme barrées; elles agissent avec violence alternativement contre chaque bord; et il est impossible qu'en frappant contre tant de points différents, elles n'en trouvent de foibles qu'elles franchiront. Dès qu'il y aura inondation, il se formera essentiellement des atterrissements au-dessous. Les inondations auront donc lieu jusqu'à ce que la riviere se forme un nouveau lit. C'est de cette maniere que la plupart des rivieres parcourent successivement l'étendue des plaines où elles serpentent.

Un des meilleurs moyens de fortifier les bords des rivieres consiste à y élever des arbres: mais il est difficile de les faire prospérer vis-à-vis des coudes; car non seulement les eaux parviennent à les déraciner successivement, mais elles occasionnent souvent leur destruction avant qu'ils soient parvenus à une certaine hauteur, en amenant, au temps des crues, des arbres qu'elles ont déracinés dans les parties supérieures de leur cours, et qui viennent choquer ceux-ci avec violence. J'ai vu un grand nombre de fois de jeunes bois de la plus belle venue entièrement détruits par cette cause.

Pour prévenir les mauvais effets des inondations, on est obligé

« elle-même l'arrondissement d'un « coude pendant un grand nombre « d'années, toutes choses s'y arrangent de maniere que, par certaines « compensations, et suivant certaines « loix qui y sont très bien observées, « ce coude acquiert une stabilité sensible. Les conditions les plus indispensables pour cela sont renfermées « dans la proposition suivante.

« Pour que le lit d'une riviere ait de « la stabilité à l'arrondissement d'un « coude, il faut, 1°. que la profondeur de l'eau y soit plus grande « qu'ailleurs; 2°. que le fil d'eau du « milieu du lit, après avoir frappé la « digue ou la rive concave de l'arrondissement, soit réfléchi sous le même « angle dans la ligne du milieu du lit « au-dessous du coude; 3°. que l'angle d'incidence soit proportionné à « la tenacité du terrain; 4°. qu'il y ait « à ce coude une augmentation de « pente, ou une charge capable de « vaincre la résistance du coude. »

Comme l'autorité de M. de Buat peut être d'un très grand poids, je ne puis me dispenser de faire quelques observations sur les principes qu'il établit, parcequ'ils seroient funestes à

souvent d'élever des digues sur les bords des rivieres. Or on voit aisément que les dépenses de construction et d'entretien diminueront à proportion que le développement de la riviere sera plus court et que les eaux choqueront moins directement ces digues.

357. Les auteurs qui ont écrit sur la théorie des fleuves ont senti les avantages qui résultent de la direction des eaux en ligne droite, et ils ont prescrit de s'assujettir à cette regle toutes les fois qu'on pouvoit l'appliquer à des rivieres qui ne couloient que sur du sable, ou qui n'avoient plus de cailloux dans leur lit. Mais ces cas, comme nous l'avons vu, sont extrêmement bornés pour les rivieres peu considérables. Il s'en trouve bien peu, dans la classe de celles-ci, qui n'aient des cailloux dans leur lit, et il n'y a que les grands fleuves qui cessent d'en montrer à une grande distance de leur embouchure.

On a vu, dans le discours préliminaire, les motifs d'après lesquels les auteurs italiens se sont décidés à s'écarter de la regle qui se présente si naturellement de diriger les rivieres en ligne droite dès qu'elles ont des cailloux dans leur lit.

358. J'ai prouvé que ces auteurs s'étoient formé des idées fausses sur l'action et sur la vitesse des eaux. Des principes erronés ne

ceux qui les adopteroient avec confiance pour des rivieres qui coulent dans des pays montagneux.

Quand il est question de fleuves comme la Seine, la Marne, la Saône, etc. dont la pente est très foible et dont le cours est très lent, on n'a presque rien à craindre de leur action. On peut les considérer comme de grands canaux de dérivation; ils s'assujettissent à toutes les irrégularités auxquelles on veut les soumettre; ils ne changent pas de lit; et les bords, avec une tenacité médiocre, résistent constamment. Mais il n'en est pas de même des rivieres rapides. Si les eaux rencontrent des obstacles, il faut, pour leur stabilité, qu'ils puissent opposer une résistance suffisante. Si le terrain dont les bords sont formés peut être corrodé par le choc direct des eaux, il n'y aura jamais de stabilité aux coudes dans le temps des crues. Si on veut, dans ce cas, rendre invariable le cours d'une riviere, il faudra que l'art défende les bords attaqués par les eaux, et qu'il les dérobe à leur action.

Tous ceux qui ont étudié les rivieres rapides ont observé que, lorsqu'on construisoit sur leur cours des

pouvoient guere les conduire qu'à des préceptes dangereux. Il n'y a pas, en effet, de regle plus mal entendue que celle qui prescrit de faire serpenter les rivieres qui coulent sur des cailloux.

Imaginons une riviere qui serpente, qui coule sur des cailloux, dont les bords aient une parfaite stabilité, et dont le lit ait assez de profondeur pour que les eaux n'en sortent pas au temps des crues.

En supposant que le transport des cailloux dépendît uniquement de la rapidité des eaux, il est évident qu'en rendant le cours de cette riviere plus tortueux, on diminueroit sa pente et sa vîtesse, et que par conséquent les cailloux qui lui viennent de son origine (elle ne sauroit en recevoir d'autres, puisqu'on suppose que ses bords conservent leur stabilité) se répandront sur un espace moins long. Mais, quelques sinuosités que presente cette riviere, on ne sauroit empêcher les eaux pluviales d'amener dans son lit une quantité de cailloux déterminée, parceque cet effet dépend de l'abondance des pluies et de l'organisation du terrain exposé à leur action : ainsi ces sinuosités contribueront seulement à ce que les cailloux ne se répandent que sur un espace moins long. On voit donc qu'en supposant même que le transport des cailloux dépendît uniquement de la rapidité des eaux, il seroit avantageux de

---

digues élevées, ou lorsqu'elles rencontroient des obstacles, elles s'établissoient près de ces digues et de ces obstacles, et qu'elles y creusoient plus profondément leur lit. La profondeur des eaux est donc plus grande aux coudes qu'aux endroits où leur cours est direct. Le creusement est produit par la chûte des eaux après qu'elles ont choqué le bord à l'instant où le coude est formé ; et il est d'autant plus grand, que les bords sont plus voisins, et que la tenacité de ces bords est plus grande que celle du fond. C'est là un effet nécessaire. Mais cette plus grande profondeur du lit annonce toujours un choc contre les bords ; et, lorsqu'ils ne se détruisent pas, elle doit être regardée comme une preuve de leur tenacité, et non pas comme une condition de stabilité.

Si l'eau étoit parfaitement élastique, il n'est pas douteux qu'après avoir choqué un des bords, elle ne dût se détourner en faisant un angle de réflexion égal à celui d'incidence. Dans cette supposition, étant données les directions du lit d'une ri-

diriger les rivieres en ligne droite, parceque leur vîtesse étant plus grande, elle contribueroit à étendre sur un plus long espace la quantité de cailloux qui pourroit entrer dans leur lit lors de chaque crue, et de cette maniere le fond de ce lit s'éleveroit en moins de temps.

Si, au lieu d'imaginer que les bords conservent leur stabilité, on suppose que, lors de chaque crue, ils soient dégradés dans un grand nombre d'endroits, il est évident que leur décomposition occasionnera l'entrée de nouveaux cailloux dans la riviere qui en éleveront le fond. Or cet inconvénient seroit prévu, ou seroit moins grand en dirigeant la riviere en ligne droite, parceque ses bords seroient moins exposés à être corrodés, et parcequ'ils ne le seroient que sur une moindre étendue.

359. Nous avons indiqué (§ 315) les circonstances sans lesquelles les eaux des rivieres ne sauroient déplacer ni charier des cailloux. On a vu comment leur action s'affoiblissoit toujours davantage à mesure qu'elles parvenoient à des points plus éloignés de ceux où elles étoient entrées dans le lit de ces rivieres, et qu'elle étoit entièrement détruite à des distances d'autant plus considérables de l'embouchure, que le développement du lit étoit plus long. Ainsi il est clair que, si une riviere telle que AB (*figure* 57),

---

viere au-dessus et au-dessous d'un coude, il ne seroit pas difficile de tracer la forme que devroient avoir les bords pour que les eaux, après une, deux, etc. bricoles, suivissent la seconde direction: mais l'eau n'est pas un fluide élastique. Ainsi tout ce que M. de Buat a écrit sur la forme qu'on doit donner aux coudes selon le nombre des bricoles, est fondé sur une hypothese qu'on ne peut pas admettre.

La troisieme condition de stabilité est très exacte. On sent, en effet, que, pour qu'elle ait lieu, il faut que l'angle d'incidence soit d'autant plus petit, que la tenacité du terrain est plus foible.

Quand même le creusement qui a lieu au coude seroit produit par la cause qu'indique M. de Buat, l'augmentation de pente qui existe vers ce point rendroit la vîtesse des eaux plus grande, et par conséquent leur choc contre le coude plus considérable. Cette augmentation de pente seroit donc plutôt une cause de la destruction du bord qu'une condition de stabilité.

dont les bords sont déterminés depuis long-temps, ne montre des cailloux que jusqu'au point B, c'est une preuve que, par la réunion des eaux pluviales, la plus subite et la plus abondante que sa position puisse permettre, le mouvement d'ondulation est détruit lorsque les eaux sont parvenues au point B.

Supposons à présent qu'on change la direction de cette riviere et qu'on lui forme un lit en ligne droite, comme on le voit en AC, en lui conservant la même largeur, il est évident que cette riviere, qui ne pouvoit charier du gravier que jusqu'en B dans le lit sinueux, en chariera au-delà du point C correspondant dans le lit rectiligne, parceque, si le mouvement d'ondulation se soutient jusqu'au point B en suivant tous les détours du lit AB, il se soutiendra sur le lit AC jusqu'à une distance AD à peu près égale au développement AB dans le lit rectiligne. Les cailloux se répandront ainsi sur un espace aussi long que dans le lit tortueux; mais, dans le premier, la situation relative de ces dépôts sera répartie sur une plus grande pente.

360. En général, quelle que soit la position du point A, la cause qui, lors de chaque crue, subsistera à cet endroit pour charier du gravier, sera la même, et sera détruite à une distance égale de ce point A, soit que les eaux suivent un lit sinueux, soit qu'elles en enfilent un qui soit rectiligne: mais, dans ce dernier cas, la même quantité de gravier sera distribuée sur une plus grande pente, et par conséquent le lit de la riviere éprouvera un moindre exhaussement.

361. Si les bords d'une riviere ont une stabilité suffisante en A (*figure* 58) sur un espace assez étendu, les changements qu'on pourra faire à la direction du lit au-dessous de cet espace ne changeront rien à l'action des eaux au-dessus. En effet, ce fluide aura produit tout le dommage qu'il pouvoit occasionner en arrivant en A: parvenu à ce point, il ne sauroit plus agir au-dessus, puisqu'il n'y existe point; et quelque direction qu'on lui fasse suivre alors, il ne pourra donc pas avoir plus d'influence sur les eaux qu'il pré-

cede que si on le supposoit entièrement anéanti. Ainsi, soit qu'on dirige en ligne droite une portion du lit d'une riviere, soit qu'on la rende fort tortueuse, si, à l'origine de ce changement, les bords conservent leur stabilité, le lit supérieur n'éprouvera aucune altération à raison de ce changement.

Mais l'inverse de cette proposition ne sera point vraie, c'est-à-dire que les changements qu'on occasionnera dans une portion du lit d'une riviere auront nécessairement beaucoup d'influence sur la direction que les eaux prendront au-dessous. Imaginons, en effet, qu'au-dessous de A la riviere fût dirigée en ligne droite, et que ses bords eussent alors assez de stabilité pour résister à l'action des eaux: s'il arrive ensuite que les eaux corrodent le bord opposé à A vers B, alors, au lieu d'enfiler le lit rectiligne, elles frapperont sur le bord opposé, lequel, n'ayant pas assez de stabilité, sera corrodé vers D; de D, les eaux seront renvoyées en C, etc. On voit ainsi comment une inflexion, dans une portion du lit d'une riviere, en occasionne ensuite un grand nombre au-dessous.

362. Il y a des auteurs qui ont prétendu qu'un changement opéré dans la partie supérieure d'une riviere occasionnoit ensuite nécessairement des changements à des distances fort grandes: mais cela n'est vrai qu'autant qu'à l'occasion des changements qu'on a faits, la stabilité des bords pourra être altérée en aval; car si cette stabilité étoit constante, les changements supérieurs n'en occasionneroient pas de nouveaux inférieurement. Si en A les deux bords opposés peuvent résister à l'action des eaux, quelle que soit leur direction, la sinuosité du lit au-dessus de A ne contribuera point à rendre le lit tortueux au-dessous.

363. Les auteurs qui ont prescrit de commencer par la partie inférieure des rivieres lorsqu'il étoit question de les régler, se sont bien évidemment mépris. Imaginons qu'on dirige en ligne droite une portion du lit d'une riviere, et qu'on donne aux nouveaux bords une stabilité suffisante pour qu'ils puissent résister aux eaux lorsqu'elles coulent parallèlement à leur direction; si, à l'origine

du changement qu'on a fait, la riviere a un cours sinueux, de maniere que les eaux n'entrent pas en ligne droite dans le nouveau lit, elles altéreront d'abord sa direction à la partie supérieure, et cette altération s'étendra insensiblement en dessous, de maniere que la riviere reprendra d'elle-même son ancien cours tortueux.

On ne doit pas conclure de ce que je viens de dire, qu'on ne puisse pas contenir une riviere dans une direction rectiligne, sans donner à tout son cours la même direction: il suffira, pour garantir sa stabilité, d'assurer celle des bords à l'origine du nouveau lit; les eaux y entreront alors sans le dégrader, et elles le suivront comme si elles n'avoient pas eu auparavant des directions différentes.

On voit ainsi qu'on peut diriger en ligne droite telle portion du lit d'une riviere qu'on voudra choisir, et qu'on rendra, par ce moyen, sa stabilité aussi grande qu'elle puisse être naturellement, pourvu qu'on emploie les précautions que j'ai indiquées. Je ne dois cependant pas négliger d'avertir qu'il ne faut pas faire des coupures d'une maniere inconsidérée. Si on redresse le lit d'une riviere dans un certain espace, et si on lui laisse des coudes au-dessous, comme elle acquerra une plus grande vîtesse en coulant sur une plus grande pente et dans la même direction, elle occasionnera, dans les endroits où elle serpentera encore, des ravages plus grands que lorsqu'elle serpentoit dans un plus grand espace.

364. Les eaux pluviales, en se réunissant, se creusent elles-mêmes des canaux proportionnés à leur volume; et quelque irrégularité qu'elles puissent présenter dans leur cours, il est impossible que leur lit ne prenne pas naturellement dans un grand nombre d'endroits la largeur, la profondeur et la stabilité qui lui conviennent. Ces points importants doivent être distingués soigneusement par ceux qui sont dans le cas de modifier le cours d'une riviere, car toute leur habileté ne doit consister qu'à imiter ensuite ce que la nature a fait de mieux.

Après qu'on aura connu les dimensions du lit qui sont suffisantes pour fournir à l'écoulement des eaux, si on parvient à donner

à

à ce lit, dans toute son étendue, les mêmes dimensions et une direction rectiligne, on sera assuré que les eaux s'échapperont plus librement qu'avant que la rectification eût lieu. La largeur et la profondeur de la riviere seront ainsi plus grandes qu'il ne faudroit pour rassembler toutes les eaux qui pourront s'y rendre. On aura donc moins à craindre d'inondations, etc.

365. En imaginant que les bords conservent leur stabilité, il semble que le lit devroit conserver toujours les mêmes dimensions. Cela auroit lieu, en effet, si le fond du lit ne s'élevoit pas; mais comme les eaux pluviales y amenent du gravier et du sable, ces matieres y sont déposées, et le fond s'éleve ainsi d'autant plus vîte que ces dépôts sont plus abondants.

Cependant, dans le temps même que le fond du lit s'éleve, les bords s'élevent ordinairement aussi, soit par les dépôts que les rivieres y laissent lors des inondations, soit par l'éboulement des terres qui descendent des montagnes et des collines dans les vallées au fond desquelles les rivieres ont leur lit.

Comme les eaux n'ont pas besoin d'être animées d'une grande vîtesse pour déplacer le sable, les dépôts de cette matiere, formés à la suite d'une crue, sont ordinairement déplacés et emportés par la crue suivante; et ou ils sont chassés en partie hors du lit, ou ils parviennent insensiblement à la mer.

366. On voit par-là que les dépôts particuliers de sable contribuent peu à élever le fond des rivieres; leur influence est même nulle dans tous les endroits où la pente est assez sensible pour que les eaux puissent aisément déplacer ces matieres. Les lieux où leur effet, quoique lent, est mieux marqué, sont ceux qui avoisinent le terme de leur cours; arrêtées alors, elles élevent à la fois le fond et les bords des rivieres qui les ont chariées.

A l'embouchure des grands fleuves, il ne faut pas un grand nombre d'années pour voir former des terres stables dans des lieux auparavant couverts par les eaux de la mer.

Il y a en Italie plusieurs fleuves qui offrent encore sur leur cours,

dans des villes nouvelles, des monuments anciens élevés par la grandeur romaine; mais à proportion que ces villes sont plus voisines de l'embouchure de ces fleuves, le niveau du sol des anciens édifices se trouve à une plus grande profondeur relativement au sol nouveau.

A Arles, au fauxbourg de Trinquetaille, il faut creuser dans le sable à une toise et demie de profondeur pour trouver les décombres de l'ancienne ville. On voit, dans le lit même du Rhône, des voûtes qui, lorsqu'elles furent construites, étoient certainement élevées au-dessus du niveau de ses eaux. Ainsi l'exhaussement du fond et des bords du fleuve a été considérable dans le cours d'un certain nombre de siecles; et il auroit été encore plus grand, si cette ville eût été bâtie plus près de la mer (1). On n'observe pas des changements pareils dans les villes qu'on trouve en remontant le Rhône, à cause de la pente que ce fleuve y conserve.

367. Ainsi, dès qu'on s'est assez éloigné de l'embouchure des fleuves pour qu'ils aient une pente sensible, l'élévation du fond occasionnée par les sables doit être, pour ainsi dire, comptée pour rien; et comme les grands fleuves ne coulent que sur des matieres pareilles dans la plus grande partie de leur cours, ils ne doivent pas changer d'état si leurs bords ont une stabilité constante.

368. A mesure qu'on parvient aux lieux où il y a des cailloux, avec quelque lenteur qu'ils aient pu être amenés, ils offrent une cause toujours subsistante de l'élévation du fond: mais les sables déposés par les inondations sur les bords, et les terres fournies par l'éboulement des collines, sont plus que suffisants pour élever les bords en une aussi grande proportion que les cailloux pourroient élever le fond. Ainsi, en supposant les bords stables, quoiqu'une riviere ait des cailloux dans son lit, on ne doit pas craindre que le

(1) On bâtit en 1737, à l'embouchure du Rhône, un phare qu'on nomme la *Tour de Saint Louis*. La mer est à présent éloignée d'une lieue de cet édifice.

fond s'éleve rapidement, si l'augmentation du volume des eaux ne se fait que par degrés, ou si les crues ne sont pas subites. On voit, en effet, des ponts sur les rivieres les plus rapides, dans des endroits où elles ne coulent que sur des cailloux, qui offrent aux eaux, après plusieurs siecles, un écoulement aussi libre que lorsqu'ils furent construits (1).

369. Cependant les choses changent à mesure qu'on approche de l'origine des fleuves : comme les crues y sont subites, les eaux peuvent alors charier des cailloux; et, en supposant les bords invariables, le fond ne peut manquer de s'élever par degrés, et quelquefois rapidement.

Il arrive souvent que des rivieres charient assez abondamment des graviers, sans que pour cela leur fond s'éleve beaucoup. Mais cet effet est produit, parceque les eaux ne sont pas contenues par des bords constants; elles s'ouvrent de nouveaux lits dans des terrains qu'elles emportent; et elles laissent, dans le lit qu'elles abandonnent, les cailloux qu'elles avoient auparavant chariés.

370. L'objet essentiel est de prévenir l'exhaussement du lit des fleuves, et on ne sauroit parvenir à cela qu'en empêchant les eaux de charier des cailloux dans les lieux où ils sont en plus grande abondance et où elles affluent plus subitement. C'est par conséquent la maniere dont on regle les torrents qui décide essentiellement de l'exhaussement plus ou moins prompt du fond des rivieres que ces torrents grossissent; c'est à l'origine même des fleuves qu'il faut arrêter ces matieres, si on craint qu'elles puissent ensuite altérer la stabilité de leur lit.

Lorsqu'on met en culture un terrain situé sur différentes pentes, les eaux pluviales, se rassemblant au point de réunion des différents plans inclinés, s'y creuseroient un lit, si le propriétaire attentif ne prévenoit cette dégradation en élevant sur la direction des eaux des

(1) Il existe en Provence des ponts construits par les Romains, etc. qui justifient ce que j'avance.

murs qui les forcent de se répandre sur un grand espace et de couler sur une petite hauteur.

C'est un artifice pareil qu'il faut employer pour diriger les torrents, si on veut les empêcher de charier des cailloux. Moins les eaux qu'ils rassembleront auront d'élévation lorsqu'elles afflueront subitement, moins leur action contre le fond sera redoutable, et moins par conséquent elles charieront de gravier.

Il faut par conséquent donner aux torrents beaucoup de largeur, si on veut les empêcher de charier des cailloux. Il est vrai que par ce moyen les eaux ne s'écouleront pas avec autant de vîtesse que si elles prenoient une plus grande élévation; mais il sera aisé de compenser par une plus grande largeur ce que les eaux pourront perdre du côté de la vîtesse.

371. Les torrents qui ne coulent que sur du sable ont un lit qui a souvent peu de largeur, et qui est toujours profond. Il ne faut rien changer à la premiere de ces dimensions, si elle suffit pour empêcher les inondations; car l'espace que les torrents occupent étant entièrement perdu, il faut leur laisser de préférence les dimensions qui réduisent davantage l'espace qu'ils peuvent occuper et qui conservent plus de terrain à l'agriculture: il faut aussi les diriger en ligne droite pour le même objet, et pour conserver aux bords une stabilité suffisante.

Mais on doit augmenter davantage la largeur des torrents à proportion que leur lit est plus couvert de cailloux, et que l'affluence des eaux, lors des crues, y est plus subite.

372. Lorsque des torrents coulent successivement sur des lieux penchants et dans des plaines, c'est principalement sur les parties de leur cours qui ont une plus grande inclinaison, qu'il faut leur donner plus de largeur.

Il est évident qu'on peut par ce moyen retenir dans les parties supérieures des torrents les cailloux qu'ils peuvent charier; et dès qu'on auroit rempli cet objet, on pourroit diminuer ensuite leur largeur et les forcer de se creuser un lit plus profond, sans qu'on eût

à craindre qu'il ne se comblât ni que ces torrents contribuassent à élever le fond des rivieres qu'ils grossissent.

373. Il y a cependant des cas où on peut faire servir à l'utilité publique la propriété qu'ont les torrents de charier des graviers. Si, par exemple, une riviere considérable dégradoit les terres voisines de l'endroit où ce torrent a son embouchure, on ne sauroit opposer à ses efforts une digue plus puissante que ce torrent même. Pour rendre sa résistance plus efficace, on resserreroit ses bords dans une grande partie de son cours: ses eaux afflueroient ainsi plus subitement; et, en arrivant à l'embouchure sous un volume plus réduit, avec une plus grande vîtesse, et avec un plus grand nombre de cailloux, elles repousseroient plus sûrement la riviere dont on craignoit les ravages.

374. Quand il sera question de régler un torrent, on commencera toujours par la partie supérieure, soit qu'on veuille empêcher qu'il ne charie beaucoup de cailloux, soit qu'on desire qu'il produise l'effet contraire: car, dans le premier cas, en élargissant les torrents par le bas, on n'empêcheroit pas que les cailloux ne parvinssent à ce point; dans le second cas, on ne parviendroit pas à faire entraîner les cailloux jusqu'à l'embouchure, si, par la disposition du lit, ils étoient arrêtés à la partie supérieure.

375. Il est certain qu'en diminuant la largeur d'un torrent dans une petite partie de son cours, on force ses eaux d'affluer sur une plus grande élévation, et par conséquent avec une plus grande puissance pour creuser le fond. Mais, de ce que, dans des circonstances pareilles, il se forme, lors d'une crue, un affouillement à l'endroit où les bords du torrent ont été resserrés, il ne faudroit pas conclure que si on eût réduit de la même maniere, sur un long espace, le lit de ce torrent, il eût creusé son lit, sur toute cette longueur, à la profondeur de l'affouillement en question.

Soit un torrent dont la largeur moyenne est marquée par OS, ou ID (*figure* 59), et imaginons qu'en A on diminue sa largeur au moyen d'une digue, en élevant cependant ses bords de façon que

les eaux ne puissent pas sortir de son lit. Comme, en A, le rétrécissement du lit donnera lieu à une chûte, il s'y formera nécessairement un affouillement; les matieres qui seront enlevées pour le former seront répandues sur la largeur du lit en-aval à une petite distance de l'affouillement: mais si, au lieu de resserrer le lit du torrent dans un point seulement tel que AB, on les resserroit à la fois de la même quantité sur un grand espace BD, il ne faudroit pas s'attendre que les eaux creuseroient le lit dans tout cet espace de la même quantité que l'affouillement isolé en AB: car, 1°. en AB il y aura bien toujours une chûte; mais son effet ne s'étendra pas loin, et les eaux prendront, à une petite distance au-dessous, un mouvement régulier et parallele au fond: ainsi elles ne pourront charier des cailloux que dans le commencement même de chaque crue; ce qui rendra le temps où elles pourront exercer leur action très borné. 2°. En supposant que la chûte en AB occasionnât, lors d'une crue, un affouillement d'une demi-toise de profondeur, il faudroit, pour que le lit s'abaissât de la même quantité sur l'espace BD, que les eaux pussent y enlever autant de toises cubes de gravier qu'il seroit marqué par la moitié du nombre de toises quarrées que contiendroit la surface ABCD: or cela est impossible, parceque, hors le point où la chûte en AB a lieu, les eaux ne peuvent agir contre le fond que pendant l'instant où elles affluent subitement lorsqu'il y a des crues, et alors même les cailloux prennent bientôt une disposition qui les dérobe à l'action oblique des eaux, et qui leur laisse une stabilité assez constante.

376. Ainsi on ne sauroit supposer que les cailloux peuvent être entraînés successivement. D'un autre côté il seroit absurde d'imaginer qu'ils peuvent être enlevés à la fois sous de grands volumes; car, si cela avoit lieu, ces cailloux, en s'éloignant de B, formeroient une masse toujours plus élevée qui barreroit bientôt le canal par lequel les eaux devroient s'échapper.

377. En imaginant qu'après avoir resserré le lit d'un torrent par de nouveaux bords sur les directions AC, BD, on pût appliquer

en AB une machine qui amenât successivement, sous des volumes plus ou moins grands, au-delà de CD, tous les cailloux compris dans le nouveau lit qu'on auroit formé, on auroit l'idée de l'effet qu'on voudroit faire produire aux eaux. Tout le monde verra aisément qu'il seroit infiniment plus commode d'imiter alors l'effet de la charrue, c'est-à-dire de rejetter sur les bords du torrent les matieres qui formoient déja le fond du lit; mais pour cela il ne faudra jamais élever des bords sur un long espace, dans l'attente que, lors d'une crue, les eaux creuseront le lit et emporteront au-dessous le volume de cailloux qu'on vouloit enlever. Il ne faut régler alors les torrents, que sur de petits espaces, et ne continuer ces ouvrages, que successivement et à mesure que les eaux auront produit l'effet qu'on attendoit de leur action.

378. Cependant, lorsqu'une fois la direction d'un torrent sera déterminée, on pourra d'intervalle en intervalle resserrer les bords au point qu'on jugera convenable. Ces ouvrages isolés donneront naissance à un égal nombre de chûtes, et par conséquent à un égal nombre d'affouillements; ce qui sera une préparation pour l'établissement et la formation du nouveau lit: mais ces ouvrages ne doivent être liés que successivement et en commençant par les parties plus élevées.

379. Rassemblons en peu de mots les regles qu'on doit suivre pour diriger avec le plus d'avantage les torrents et les rivieres.

1°. On donnera à leur lit assez de capacité pour qu'il puisse recevoir toutes les eaux qui doivent y entrer dans les crues ordinaires. En suivant leur cours, l'observation fera connoître un grand nombre d'endroits qui satisferont à cette condition. On préférera de se régler là-dessus plutôt que sur l'estimation hypothétique qu'on pourroit faire de la vîtesse et du volume des eaux d'après leur élévation au temps des crues, et la pente du lit.

2°. Il y a des rivieres qui éprouvent quelquefois, mais rarement, des crues extraordinaires. Il ne faudroit pas se régler sur le volume d'eau qu'elles peuvent fournir alors pour fixer les dimensions de

leur lit. On préviendra les dommages qu'elles pourroient occasionner en construisant, à une certaine distance des deux bords, des levées qui, dans ces cas extraordinaires, servissent à contenir les eaux.

3°. Comme l'eau doit agir par-tout de la même maniere contre le fond, on le rendra horizontal: par conséquent la forme du lit sera rectangulaire lorsque les bords seront formés de matieres tenaces; s'ils n'étoient composés que de terres légeres, on les disposeroit en plan incliné, et on multiplieroit sur chaque talut des arbres ou des arbustes.

4°. On dirigera autant qu'il sera possible le lit en ligne droite; cette attention servira à conserver les bords, et leur assurera, pour ainsi dire, une stabilité constante. Il n'entrera ainsi dans le lit aucun nouveau caillou; quelques uns de ceux qui y étoient déja éprouveront seulement un mouvement progressif: mais on n'aura pas à craindre que le fond puisse s'élever d'une maniere sensible, à moins qu'on ne prenne pour la production de cet effet un temps très considérable.

Quant aux dépôts de sable et de limon, on ne redoutera pas qu'ils puissent élever jamais le lit des rivieres qui ont quelque pente. Ces matieres, qu'une crue fournit, sont enlevées et remplacées par la crue suivante; elles passent des rivieres dans les fleuves, et parviennent enfin à des lacs ou à la mer.

5°. Lorsque j'ai prescrit de donner aux torrents beaucoup de largeur, c'étoit dans la supposition qu'ils pouvoient charier beaucoup de cailloux. Mais, dans tous les cas où on n'auroit pas ce danger à craindre, c'est-à-dire presque toujours, on évitera de leur donner trop de largeur.

6°. Une fois qu'on aura déterminé la largeur que doit avoir une riviere, on lui conservera la même dimension tant que le volume de ses eaux n'augmentera pas. Si, au-dessous d'un endroit où le lit auroit été ainsi fixé, la largeur devenoit beaucoup plus grande au temps des crues, les eaux affluentes y auroient moins de hauteur,

et

et elles y déposeroient par conséquent les matieres qu'elles auroient chariées jusques-là avec difficulté; le fond du lit s'éleveroit ainsi, et formeroit une espece de barre ou de digue qui occasionneroit infailliblement des inondations, la dégradation d'un des bords, etc.

7°. Le fond du lit restera uni si le courant a la même force sur toute la largeur de la riviere; mais si on distinguoit un courant principal, et s'il s'établissoit contre un des bords, on préviendra la dégradation de celui-ci, on empêchera que les dépôts qui se formeront alors sur la rive opposée ne prennent trop de consistance, on arrachera avec soin les arbres et les plantes qui pourront y naître; on y fera enfin passer la charrue si les circonstances l'exigent.

8°. On multipliera autant qu'il sera possible le long de chaque bord les arbres aquatiques que le climat favorise davantage, et on les entretiendra avec soin: il n'est aucun moyen plus économique pour donner aux bords une plus grande stabilité.

9°. Lorsqu'on barrera les rivieres pour établir des canaux de dérivation, on construira les digues solidement, et on contiendra les eaux de maniere que l'affouillement ou petit lac auquel on aura donné naissance ne se comble pas, et n'occasionne pas ainsi l'exhaussement du lit. Ce danger sera peu à redouter lorsque les rivieres auront beaucoup de pente; mais il pourra être très grave et avoir des suites funestes lorsqu'elles en auront peu.

SECTION XVIII.

De l'union et de la séparation des torrents et des rivieres.

380. Lorsqu'on est dans le cas d'unir deux torrents ou deux rivieres, il faut fixer d'abord les dimensions que doit avoir le lit destiné à les recevoir. Si la pente est la même, on creusera le lit commun, et on lui formera des bords à une distance suffisante pour que la surface des sections au temps des hautes eaux soit égale à la somme des surfaces des sections des lits particuliers dans les mêmes circonstances. Si la pente du lit commun doit être plus

grande après l'union, ce lit pourra avoir moins de capacité que n'en ont à la fois les lits particuliers : ce sera le contraire si la pente doit être moindre.

Ces attentions sont les seules qu'on doive avoir, et il ne faut pas s'alarmer au sujet des dépôts que chaque riviere pourra former. En effet, on n'aura pas à craindre que le fond du lit s'éleve, si chaque riviere ne coule que sur du sable. Si l'une d'elles seulement coule sur du gravier après leur union, les cailloux qui entreront dans le lit commun se répandront sur un fond beaucoup plus large; et la vîtesse des eaux y étant souvent plus grande au temps des crues, les cailloux seront répandus sur une plus grande longueur. Ainsi l'union des rivieres contribuera, dans ce cas, à rendre plus lent l'exhaussement du fond. Enfin, si chacune des rivieres couloit sur du gravier, leurs eaux réunies contribueroient à le transporter plus loin du confluent que si chacune d'elles avoit coulé séparément. Ainsi, même dans ce cas, la réunion sera avantageuse, et retardera l'exhaussement du fond.

Il n'y a par conséquent aucune regle particuliere à suivre pour unir ou séparer les torrents. Dans le premier cas, on dirige le lit commun comme s'il étoit occupé par un torrent unique qui fourniroit autant d'eau que les deux torrents à la fois. Dans le second cas, on réduit le lit aux dimensions qui conviennent au moindre volume des eaux qu'il doit recevoir.

SECTION XIX.

Des inondations.

381. Le lit des torrents et des rivieres ne peut souvent recevoir qu'une partie des eaux qui viennent s'y rendre. Les eaux surabondantes donnent alors lieu à des inondations. Lorsque les terres voisines sont basses, elles y forment des lacs (1) ; plus ordinairement

(1) La riviere de Guma s'enfle beaucoup dans les inondations du *Sénégal*;

elles continuent leur cours, mais avec une lenteur d'autant plus grande, qu'elles se répandent sur des plaines plus vastes.

Les inondations dépendent essentiellement de l'abondance et de la continuité des pluies: aussi, selon les pays, elles sont plus ou moins considérables et plus ou moins durables. Lorsque les pluies ne sont pas trop abondantes, les inondations n'ont guere lieu que vers l'origine des rivieres; et on voit aisément la raison de cet effet.

Il est certain que, dans une infinité de circonstances, on pourroit prévenir les inondations en donnant au lit des torrents et des rivieres une plus grande largeur. Cela est sur-tout praticable dans les contrées depuis long-temps habitées par les hommes et où il n'y a pas de hautes montagnes. Mais, pour ce qui est des fleuves majeurs, ils sont souvent grossis extraordinairement par des pluies périodiques ou par des fontes de neige considérables, et leur lit ordinaire ne suffit pas alors pour fournir à l'écoulement des eaux. On sait que le Nil se répand sur toute l'étendue de la basse Égypte dans le temps de ses crues, et qu'il assure la fertilité de toutes les terres qu'il parvient à couvrir.

C'est principalement vers l'embouchure des rivieres que les eaux fertilisent les terres sur lesquelles elles se répandent: c'est qu'alors elles ne restent chargées que de limon ou de molécules végétales.

Il y a cependant des rivieres qui ne charient que du sable quartzeux, et qui rendent stériles les terres qu'elles inondent.

En général, à proportion que les eaux des rivieres, en sortant de leur lit, ont une issue plus profonde, elles restent chargées de matieres plus grossieres.

Sur les bords des rivieres sujettes à des inondations, pour prévenir les ravages des eaux, pour fertiliser le terrain et pour le soustraire insensiblement aux inondations, on forme, dans une direction

---

et, surpassant ses bords, elle forme un lac d'une étendue considérable. *Hist. des Voyages, tom. II, pag.* 495. L'Afrique, l'Europe, l'Asie et l'Amérique pourroient me fournir une infinité d'autres exemples.

perpendiculaire au lit, des levées en terre qui, retenant les eaux sur un assez long espace, leur font déposer le limon qu'elles soutenoient. On produit le même effet en formant des haies d'arbres aquatiques.

382. On lit dans les auteurs italiens et dans l'histoire naturelle (1) de M. de Buffon, que, lorsque l'inondation a commencé, la vîtesse des eaux diminue dans les fleuves.

Toutes les fois que les eaux affluent subitement avec un volume considérable, leur vîtesse peut être alors fort supérieure à celle qu'elles pourroient avoir lorsque leur cours seroit établi: mais ce n'est pas sous ce point de vue que les auteurs dont j'ai parlé ont considéré la question.

Dès que le cours des eaux est établi, si leur volume augmente, pourvu que cette augmentation ne se fasse que par degrés, et si leur écoulement se fait librement, leur vîtesse augmentera toujours. Il est constant, en effet, que, sous même pente, la vîtesse des eaux augmente avec leur volume. Sous ce point de vue, l'assertion des auteurs italiens seroit fausse.

Mais si les eaux éprouvent de la difficulté en s'écoulant dans quelque partie de leur cours, il est évident qu'à proportion que l'écoulement sera plus gêné et que l'abondance des eaux sera grande, leur mouvement en amont deviendra plus lent. D'ailleurs, si les eaux peuvent se répandre dans des plaines étendues, non seulement elles couleront dans la direction du lit, mais encore dans la direction qu'elles pourront prendre en s'échappant par-dessus les bords. Ce dernier mouvement rendra leur vîtesse superficielle moindre.

383. Cependant, au point même où l'écoulement sera plus gêné, il y aura toujours une chûte, et par conséquent une vîtesse d'autant plus grande, que les eaux affluentes auront été forcées de parvenir à une plus grande élévation. On voit ainsi que le phénomene annon-

(1) Théorie de la terre, *tom. II*, *pag.* 62.

cé par les auteurs italiens n'est pas général; que, si dans quelques circonstances la vîtesse est diminuée, c'est que les eaux sont arrêtées par des obstacles, ou qu'elles peuvent s'échapper latéralement, et qu'enfin, au-dessous de l'endroit où elles cessent d'être contenues, leur mouvement devient plus considérable.

384. La durée des inondations dépend de l'abondance et de la continuité des pluies; aussi elle varie pour chaque riviere: elle peut être très courte, et elle n'offre quelque régularité que dans les lieux où les pluies sont constantes et périodiques.

385. Comme le niveau de la mer s'éleve par le flux et par l'effet des vents, ces causes peuvent concourir souvent avec les pluies pour occasionner des inondations près de l'embouchure des rivieres. On doit regarder alors la mer comme un obstacle que les fleuves rencontrent. Ils sont obligés, en effet, de prendre un niveau plus élevé que la surface de la mer avant de se confondre avec elle; et pour parvenir à ce point, il faut qu'ils coulent sur une plus grande pente que si la surface de la mer étoit plus basse.

Cependant, si les eaux, en s'élevant, n'éprouvoient pas des obstacles pour s'échapper, leur élévation occasionnée par celle du niveau de la mer ne sauroit jamais surpasser ni même être égale à celle-ci. En effet, imaginons qu'une riviere, lors d'une crue, s'éleve à une certaine distance de l'embouchure de maniere que sa pente soit d'un nombre déterminé de pouces par mille: il est évident que, si on suppose ensuite que la mer s'éleve d'un certain nombre de pieds, les eaux de la riviere s'éleveront au plus assez pour couler avec la même pente marquée ci-dessus; cela ne sera pas même nécessaire, parceque, la hauteur des sections devenant plus grande, il suffira que les eaux aient une vîtesse moyenne moindre pour pouvoir s'échapper: elles n'auront par conséquent pas besoin d'une aussi grande pente; et cet effet sera d'autant plus marqué, qu'on l'observera sur une riviere plus rapide. Il est donc constant que l'élévation d'un ou de deux pieds à l'embouchure des rivieres n'occasionne pas des élévations de sept à huit pieds à une certaine dis-

tance au-dessus. Si cela étoit vrai, toutes les fois que les vents d'Est soufflent sur notre côte et forcent les eaux de la mer de s'élever de trois pieds, le Rhône s'éleveroit à Arles de huit à dix pieds. Or cela est absolument contraire à l'observation. Il s'ensuivroit pareillement que, sur les fleuves qui entrent dans l'Océan, l'élévation des eaux occasionnée par le flux seroit d'autant plus grande, qu'on s'éloigneroit davantage de la mer. Or cela ne s'observe point. L'élévation des eaux des rivieres occasionnée par le flux n'excede ni n'égale même jamais dans les parties supérieures des rivieres l'élévation qu'elles peuvent prendre à leur embouchure.

386. On prévient les inondations en ménageant aux eaux affluentes un écoulement facile, et en leur creusant un lit qui puisse les recevoir (1). La destruction des obstacles et des écluses, la direction des rivieres en ligne droite, la multiplication des canaux de dérivation, la construction de digues sur les bords, offrent, pour remplir ce but, des moyens généraux qu'on peut employer à la fois ou séparément selon les circonstances.

SECTION XX.

De la plus grande quantité d'eau que peut fournir un canal de dérivation.

387. La solution de cette question est de la plus grande importance. Veut-on arroser des terrains étendus, veut-on faire mouvoir des moulins, etc. il faut que les canaux de dérivation conduisent alors des volumes d'eau déterminés, pour obtenir les avantages ou les effets qu'on s'étoit promis.

Les canaux de dérivation sont ordinairement établis au-dessus d'une digue qui barre la riviere. Cette précaution est essentielle

(1) On lit dans le tome IX des mémoires sur les Chinois, page 25, une lettre du P. Amiot, dans laquelle on voit qu'on est parvenu à empêcher les inondations terribles du fleuve Hoang-ho, ou riviere Jaune, en lui creusant un nouveau lit sur un espace de 20 lieues.

lorsque les eaux sont sujettes à baisser considérablement, parce-qu'on les retient de cette maniere comme dans un bassin où on leur ménage une hauteur convenable.

On éleve presque toujours à l'origine du canal deux pieds droits fondés solidement et garnis d'une vanne qu'on abaisse ou qu'on éleve pour refuser les eaux ou pour les admettre dans le canal. Le seuil de cette espece d'orifice doit être à l'épreuve de l'action de l'eau, et être de niveau avec le fond de la riviere.

Nous supposerons qu'à l'origine du canal les eaux se soutiennent dans la riviere à une hauteur constante, et qu'elles n'entrent dans le canal que par l'effet de la pression. On conçoit que leur mouvement pourroit varier à l'infini si elles étoient animées d'une vîtesse acquise; et l'observation seule pourroit le faire connoître, au lieu que, dans le premier cas, la théorie le détermine directement.

388. La largeur du canal et la hauteur du niveau de l'eau au-dessus du fond étant données, on prendra (§ 151) les $\frac{4}{9}$ de cette hauteur; on cherchera la vîtesse qui y correspond, qu'on multipliera par la surface de la section; et le produit, diminué d'un tiers par l'effet de la contraction, exprimera la dépense de ce canal pendant chaque seconde (§ 213).

389. Si, à l'origine du canal de dérivation, les bords étoient évasés, la contraction seroit moindre et la dépense plus grande. Cet évasement produit l'effet des tuyaux coniques qu'on adapte à des réservoirs.

390. Comme nous supposons que l'eau n'entre dans le canal que par l'effet de la pression, elle éprouve nécessairement une chûte. Plus cette chûte sera complete, plus la dépense par l'orifice ou par le canal sera grande. Pour obtenir ce *maximum*, il faut que la pente au-dessous de l'orifice soit telle, qu'elle ne suspende pas l'écoulement des eaux. Si le fond du canal est horizontal, ou si des obstacles multipliés retardent le mouvement des eaux, leur niveau s'élevera; elles reflueront vers leur origine, rendront la chûte moins libre, et contribueront par conséquent à diminuer la dépense du

canal. Cette dépense sera d'autant plus petite, qu'il y aura moins de différence entre le niveau des eaux dans le canal et dans la riviere. On ne pourra guere la connoître qu'à peu près, et en déterminant, au moyen des corps flottants, la vîtesse moyenne des eaux.

391. La chûte (1) qui se forme à l'origine des canaux peut contribuer à en corroder le fond; mais, en le pavant solidement, cet accident sera prévenu.

392. Si la riviere étoit peu considérable, et si l'ouverture du canal étoit fort grande par rapport au volume des eaux qui peuvent y entrer, alors la dépense qu'on auroit déterminée (§ 388) seroit trop forte. On voit qu'elle pourroit diminuer jusqu'au cas où les eaux tomberoient dans le canal, comme si elles s'échappoient librement à l'extrémité d'un réservoir complet. La contraction seroit alors détruite, mais la vîtesse diminueroit de moitié.

Un traité sur les canaux de dérivation, qui rassembleroit tous

(1) M. de Buat dit qu'on peut conserver au canal la même pente et détruire la chûte, ainsi que la contraction, en lui ménageant cependant la plus grande dépense. Le moyen qu'il indique pour produire cet effet, consiste à évaser beaucoup le canal à son entrée. Nous avons vu que des orifices coniques adaptés aux vases augmentoient leur dépense en détruisant ou diminuant du moins beaucoup la contraction. L'évasement de l'entrée du canal est un artifice analogue très propre à faire disparoître la contraction; il sert à augmenter la dépense: mais il ne peut pas empêcher la chûte, et ce dernier effet ne peut être affoibli sans que la dépense diminue.

Si le canal a une pente suffisante pour laisser couler librement le volume d'eau que peut fournir la chûte libre par l'entrée supposée de même largeur que le canal, ces eaux obéiront d'abord à un *mouvement accéléré;* et si on a eu l'attention de paver en cet endroit le fond du lit, on observera, à une petite distance, que la hauteur des sections, après avoir diminué autant que l'exige la vîtesse moyenne produite par la chûte, s'élevera ensuite jusqu'à ce que le mouvement uniforme soit établi. Mais si la pente du canal n'étoit pas assez grande pour fournir à l'écoulement des eaux que la chûte produit, alors la chûte ne sera pas complete; et si on veut augmenter la dépense du canal, il faudra faire hausser les eaux de la riviere au moyen d'une digue ou d'un réservoir, jusqu'à ce que leur niveau s'éleve suffi-

les

les détails relatifs à leur utilité et à leur construction, seroit très utile. J'ai recueilli déja des matériaux assez considérables sur ce sujet, et j'en formerai un ouvrage particulier. Il suffit de dire à présent qu'on doit bien se garder d'employer la théorie de Guglielmini, lorsque les canaux ont peu de pente, pour déterminer la quantité d'eau qu'ils peuvent recevoir. Leur dépense seroit beaucoup plus foible que celle sur laquelle on auroit compté. Une autre observation très importante qu'on ne doit pas perdre de vue, consiste à donner assez de pente aux canaux dérivés des rivieres dont les eaux sont limonneuses, pour que ces eaux puissent tenir suspendues les matières dont elles sont chargées. Outre que le limon répandu ensuite sur les terres qu'on arrose les fertiliseroit considérablement, on seroit dispensé de curer les canaux, et les dépôts qui s'y forment ne diminueroient pas un écoulement que le défaut de pente auroit déja rendu trop peu considérable. On voit en Provence un

samment. Or on voit que, dans le premier cas, un évasement plus grand que celui qui est nécessaire pour détruire autant qu'il est possible la contraction seroit inutile, et que, dans le second cas, cet évasement, sans la construction du réservoir dans la riviere, ne contribueroit pas à augmenter la dépense. L'utilité des évasements est donc très bornée, tandis que leurs inconvénients sont très nombreux pour toutes les rivieres sujettes aux inondations, et dont la pente est considérable. Si l'entrée des canaux étoit dans une direction peu différente du cours des rivieres, les eaux, en s'y portant en trop grande abondance au temps des crues, pourroient occasionner une multitude de dégradations; dans des positions moins désavantageuses, l'emplacement de ces évasements seroit toujours comblé.

La meilleure disposition que l'expérience a appris à donner aux entrées des canaux de dérivation consiste, 1°. à resserrer, autant qu'il est possible, à l'endroit où on les établit, le cours des rivieres de maniere qu'il s'y forme un affouillement constant, et que le fond du lit de ces rivieres soit inférieur à celui des canaux; 2°. à placer l'entrée de ces canaux de façon qu'elle ne se trouve pas dans la direction du cours des eaux, afin que ce fluide n'y entre que par l'effet de la pression: on est assuré alors de ne voir jamais des cailloux dans les canaux où il ne se forme même aucun dépôt, si on ménage aux eaux une pente suffisante qui doit être d'autant plus grande, qu'elles sont plus limonneuses.

ouvrage très important dans ce genre, qui réunit les défauts dont je viens de parler, et qu'on ne rendra jamais aussi utile qu'il auroit pu l'être. On doit regretter que l'ingénieur habile qui en a maintenant la direction n'en ait pas été primitivement chargé.

SECTION XXI.

Du desséchement des marais.

393. Cette matiere exigeroit seule un volume étendu: aussi nous n'entreprendrons pas de l'épuiser; nous nous bornerons à l'exposition des regles les plus générales, d'autant mieux que ces objets, appartenant plus à la pratique qu'à la spéculation, et les circonstances pouvant varier à l'infini, laissent nécessairement à l'intelligence et à l'industrie des ingénieurs le champ le plus vaste.

Il arrive que des terres étendues sont inondées et deviennent inutiles à l'agriculture, parceque les eaux d'un fleuve voisin peuvent s'y répandre aisément. On prévient souvent alors les dommages que ces eaux occasionnent, en contenant le fleuve par des digues qu'il ne puisse pas franchir.

Si des eaux stagnantes qui couvrent un terrain *étendu* étoient toujours plus élevées que le lit d'une riviere voisine ou que la mer, il seroit aisé de les faire disparoître en creusant des canaux de communication avec cette riviere ou avec la mer. Mais le niveau des eaux s'éleve dans les fleuves lors des crues, et dans la mer au temps du flux; et il est possible que, dans ces circonstances, des canaux destinés à l'écoulement des eaux stagnantes produisent un effet opposé à celui qu'on en attend, et contribuent à inonder davantage le terrain qu'on veut mettre en valeur. On ne peut prévenir ces inconvénients qu'en construisant des écluses qui ferment toute communication entre les canaux de desséchement et les rivieres, ou la mer, pendant tout le temps que leurs eaux pourroient y entrer.

Lorsqu'un terrain est toujours au-dessous du niveau des rivieres voisines ou de la mer, il est très difficile de parvenir à le dessécher.

Une grande partie du sol de la Hollande est cependant dans ce cas. Aussi il a fallu toute l'industrie d'un peuple laborieux pour rendre fertiles des terres qui paroissoient destinées à être à jamais inondées. Les eaux qui s'y rassemblent sont élevées par des machines hydrauliques dans des canaux, et en s'écoulant elles deviennent très utiles : elles offrent les communications les plus promptes et les plus faciles, et favorisent ainsi le commerce intérieur.

On peut dessécher aussi des terres marécageuses en élevant leur niveau. Cela se fait aisément quand on peut y dériver des rivieres, lorsqu'elles charient beaucoup de sable et de limon. On facilite ces dépôts de plusieurs manieres, d'abord en formant, dans une direction perpendiculaire au cours des eaux, des levées qui les contiennent, leur fassent perdre leur mouvement, et les forcent ainsi à se dépouiller des matieres qu'elles entraînoient. On construit ces levées en terre, et on les revêt de gazon.

Les dépôts formés par les rivieres sont d'autant plus considérables, que les canaux de dérivation sont plus profonds. En effet, les eaux les plus basses soutiennent au temps des crues les matieres les plus grossieres. Aussi, lorsqu'un terrain est suffisamment élevé, on ne doit y introduire que les eaux supérieures des rivieres, parcequ'elles sont plus limonneuses et plus propres à fertiliser le sol où on les répand.

Au lieu de construire des levées, on peut planter beaucoup d'arbres aquatiques dans le terrain qu'on veut dessécher et élever au moyen des inondations. Les branches multipliées de ces arbres naissants arrêteront d'une maniere uniforme le limon, et suspendront plus sûrement le mouvement des eaux. Ces deux moyens peuvent aussi être employés à la fois, et dans une infinité de circonstances : leur concours produira les effets les plus avantageux.

SECTION XXII.

Des ponts.

394. Je n'entrerai dans aucun détail sur la construction des

ponts; je me bornerai à indiquer les circonstances où ils peuvent être renversés par les eaux, et les moyens de prévenir ces dangers.

Les ponts de maçonnerie doivent être d'une solidité à toute épreuve, et présenter aux eaux un passage libre. En diminuant trop leur longueur, ils réduisent beaucoup la largeur des rivieres au point où ils sont établis: ils font alors l'effet des digues; ils font élever les eaux en amont; ils occasionnent des inondations; et quelquefois étant surchargés du poids des eaux, des bois qu'elles charient, etc. ils ne peuvent résister à leur action, et sont renversés. On prévient ce danger en leur donnant une longueur suffisante, qu'on regle ordinairement sur la largeur de la riviere au temps des crues.

Cependant, si on fait la longueur d'un pont égale seulement à la largeur de la riviere, le passage des eaux se trouvera encore réduit de toute l'épaisseur des piles. Le mouvement de ce fluide sera donc le même que si on avoit barré le lit avec une digue qui eût une longueur égale à la somme des épaisseurs des piles. Le pont occasionnera donc un gonflement en amont; les eaux éprouveront une chûte en aval; elles dégravoieront les piles, et pourront souvent les renverser. Ce danger sera prévenu, si on peut établir les piles sur des rochers: mais il ne s'en rencontre pas toujours à une petite profondeur dans le lit des rivieres. D'ailleurs la direction des chemins exige souvent que les ponts soient élevés dans des endroits où on ne sauroit trouver des rochers. On n'a pas d'autre ressource alors que d'arrêter, pour ainsi dire, le fond en établissant les piles sur des pilotis qu'on doit enfoncer de la même maniere et de la même quantité, afin que, s'il y a ensuite un affaissement, il soit par-tout égal, et ne nuise point à la solidité de l'ouvrage.

La stabilité des ponts n'est pas la même sur toute l'étendue de la même riviere, eu égard au danger qu'il y a que les piles ne soient affouillées. On doit se rappeller ici ce que nous avons dit dans la théorie des rivieres. C'est vers leur origine que l'affluence des eaux est plus subite et plus considérable; c'est là que les inondations sont plus ordinaires; c'est là que le volume des eaux est plus grand

au temps des crues, relativement à la grandeur du lit : par conséquent les chûtes en aval des ponts y sont plus considérables et les piles plus facilement affouillées. On doit alors non seulement fonder les piles sur des pilotis, mais continuer le radier sous l'arche. Cette attention est d'autant plus essentielle, que le fond est naturellement plus mobile. Il nous reste en Provence quelques ponts bâtis par les Romains sur des torrents : on y observe, au-dessous des arches, des massifs en maçonnerie destinés à empêcher le fond d'être corrodé et à prévenir le dégravoiement des piles. Je pourrois citer plusieurs exemples de ponts construits à grands frais qui ont été renversés après des crues considérables, parceque les piles n'avoient pas été fondées assez solidement, mais qui, réédifiés ensuite sur des radiers établis sur toute leur longueur, ont résisté complètement à l'action des eaux.

A mesure qu'on s'éloigne de l'origine des rivieres, les crues sont moins subites, et les eaux ont moins d'influence pour corroder le fond. Là les ponts sont moins sujets à être renversés, pourvu néanmoins qu'ils offrent aux eaux un passage libre. Cette derniere condition est essentielle pour leur conservation : car si les eaux ne pouvoient pas s'échapper aisément sous les arches, elles s'éleveroient du côté d'amont; elles éprouveroient ensuite nécessairement une chûte, et affouilleroient les piles. M. de Parcieux observe, dans les mémoires de l'Académie des Sciences, que M. de Regemorte n'a réussi, en construisant un pont sur l'Allier, qu'en lui donnant une longueur beaucoup plus considérable que ne l'avoient fait les ingénieurs qui avoient formé la même entreprise, et qui avoient échoué. Ainsi on assurera toujours aux ponts une plus grande stabilité en les élevant sur les points du cours des rivieres où la largeur est la plus grande. Cette regle doit être suivie avec d'autant plus de rigueur, que les rivieres éprouvent des crues plus considérables, qu'elles sont plus rapides, et que le fond sur lequel elles coulent a plus de mobilité.

SECTION XXIII.

Des digues.

395. Les digues sont quelquefois destinées à soutenir seulement des eaux dormantes; d'autres fois elles doivent résister à l'impétuosité des eaux courantes: ainsi elles n'exigent pas toujours une construction également solide.

PREMIER CAS.

396. Imaginons que la verticale AB (*figure* 60) représente la hauteur des eaux et le parement de la digue exposé à leur action: il est certain, d'après les loix de l'hydrostatique, que tous les points de la digue, depuis B jusqu'en A, seront poussés dans une direction horizontale avec des forces égales au poids des colonnes d'eau verticales qui répondront à ces points.

En prenant CB = AB formant le triangle CAB, et menant des paralleles à CB, ces paralleles pourront représenter les hauteurs des colonnes, ou les forces qui pressent les points correspondants de la digue. Si on suppose que AB soit une vanne, elle ne pourra résister à la poussée de l'eau qu'autant qu'elle sera pressée de l'autre côté par des forces égales à celle qu'exerce le fluide. On voit ainsi que l'action de l'eau tend à faire tourner la vanne autour du point A où cette action est nulle.

397. On fait les digues ou en terre ou en maçonnerie, et par conséquent avec des matériaux qui ont une pesanteur spécifique plus grande que l'eau. Mais ce n'est pas cette condition seule qui détermine leur stabilité. Imaginons, en effet, des pierres posées horizontalement les unes sur les autres, et dont les lits soient parfaitement bien polis: si on pousse ces pierres dans une direction horizontale, on n'aura à vaincre que leur inertie, et des forces peu considérables suffiront pour les faire glisser. Mais il n'en sera pas de même, si les lits des mêmes pierres présentent des irrégularités, et

si elles sont disposées de maniere que les parties saillantes des unes répondent aux parties creuses des autres. Alors des forces exercées dans le sens horizontal ne pourront détacher ces pierres qu'en brisant l'espece d'engrenage qui les lie. Ainsi la stabilité d'une digue augmentera à mesure que les matériaux dont elle sera formée auront plus d'adhérence, et à proportion que la pesanteur spécifique de ces matériaux sera plus grande.

L'adhérence n'est pas la même pour toutes sortes de terres et de maçonneries: mais quelle qu'elle soit, puisque la poussée de l'eau tend à rompre la digue dans des directions horizontales, et comme les forces qu'elle exerce vont en diminuant en progression arithmétique, de la racine de la digue à son sommet, les résistances de la digue doivent diminuer selon la même loi. La forme de la digue, en la supposant composée d'une matiere homogene et également résistante, doit donc être triangulaire.

398. Pour déterminer l'épaisseur de la digue près de ses fondements, il faudroit connoître par expérience la force nécessaire pour rompre l'adhérence d'un volume déterminé de la matiere dont la digue est formée. Supposons d'abord que cette adhérence est pour chaque matiere comme sa pesanteur spécifique; alors p réprésentant la pesanteur spécifique de l'eau, P la pesanteur spécifique de la matiere dont la digue est formée, a la largeur d'une partie déterminée de la digue, b sa hauteur, x son épaisseur près des fondements, la masse de la digue sera à la masse de l'eau qui tend à la renverser réciproquement comme leurs pesanteurs spécifiques. Or le volume d'eau qui pese contre la digue est exprimé par $\frac{ab^2}{2}$, et celui de la digue par $\frac{abx}{2}$. On aura donc $p : \mathrm{P} :: \frac{abx}{2} : \frac{ab^2}{2} :: x : b$. Si la digue est en maçonnerie, et si alors $p : \mathrm{P} :: 7 : 12$, en faisant b de 18 pieds, x sera de 10 pieds $\frac{1}{2}$.

399. Il est certain que la résistance dont la maçonnerie est susceptible est plus grande que celle qui est déterminée par le rapport de sa pesanteur spécifique à la pesanteur spécifique de l'eau. Sup-

posons cette résistance double, comme on peut le déduire d'un grand nombre d'observations : alors, pour le cas d'équilibre, x ou BO sera de 5 pieds $\frac{1}{4}$ seulement. Mais il faut remarquer que, quoique la digue ne soit destinée qu'à soutenir des eaux dormantes, elle est sujette à être dégradée par l'action de l'air et par celle de l'eau qu'elle soutient : ainsi la prudence exige que sa stabilité soit double de celle que demande l'équilibre. On emploiera donc dans l'usage la détermination du § précédent pour la dimension de la digue près des fondements ; mais, en faisant terminer le parement extérieur au point O, on fera en sorte que la digue ait à son sommet une épaisseur convenable, et qui doit être d'environ un pied et demi pour chaque toise d'élévation.

400. On suivra pour les digues en terre la même détermination au sujet de leur épaisseur à la base. Ce n'est pas qu'elles soient capables de résister autant que celles de maçonnerie, mais elles se conservent mieux que celles-ci. On leur donnera plus d'épaisseur à la partie supérieure, et il sera même très avantageux de les paver. Je suppose que le parement exposé à l'eau est blocaillé : car s'il n'étoit pas ainsi revêtu, la digue devroit avoir plus d'épaisseur à la base ; et cette augmentation devroit être d'autant plus grande, que l'espece de terre dont elle seroit formée auroit moins de tenacité. Le talut des digues en terre est communément de la moitié de leur hauteur lorsque les parements de ces taluts ne sont pas blocaillés.

401. Nous avons déterminé (§ 397) la forme de la digue dans le cas d'équilibre, et en supposant que le parement exposé à l'action de l'eau fût vertical. Supposons à présent que, la digue ayant les mêmes dimensions, ce soit le parement AO qui soit exposé à l'action de l'eau. Il est certain que, dans les deux cas, la digue éprouvera la même poussée dans le sens horizontal, et qu'elle opposera la même résistance : mais l'eau, par les loix de l'hydrostatique, presse la digue à la fois dans le sens horizontal et dans le sens vertical. Ainsi, en supposant le parement AO (*figure* 61) formé de pierres minces à joints quarrés avec retraite à chaque assise, on

verra

verra évidemment que les faces de ces pierres paralleles à AB supporteront une pression égale à celle de AB; mais, dans le même temps, les faces paralleles à BO supporteront une pression égale à celle de AB, si BO = AB. Or cette derniere pression contribue à la stabilité de la digue; elle produit le même effet que si on avoit employé, en construisant la digue, une matiere qui eût une pesanteur spécifique égale à celle qui lui est propre, plus celle du volume d'eau dont elle éprouve la pression dans le sens vertical. On voit par-là qu'il est avantageux de présenter à l'eau la portion de la digue qui est inclinée; et si on connoissoit le rapport selon lequel l'augmentation dans la pesanteur spécifique d'une matiere augmente la tenacité de ses parties, il seroit aisé de tracer la ligne courbe AIO que devroit former le parement de la digue exposé à l'eau.

La digue ayant une hauteur constante, plus son talut sera grand, plus sa stabilité augmentera. Cela est évident, puisque la pression verticale augmentera dans la même raison que la base BO. On voit ainsi qu'il est réellement avantageux de présenter les digues aux eaux du côté où elles sont plus inclinées. Mais cet effet a cependant des limites assez étroites, et on ne peut le compter pour quelque chose que pour les digues en terre; car, pour celles qui sont en maçonnerie, comme on ne leur donne en talut que le $\frac{1}{6}$ de leur hauteur, la pression de l'eau ne sauroit ajouter beaucoup à leur stabilité. D'ailleurs cet effet est borné aux digues isolées, et il ne peut pas être appliqué aux bords des fleuves. Ici il n'est pas nécessaire, pour la stabilité du lit, que les bords soient en talut; il suffit qu'ils ne soient pas exposés à l'action directe des eaux. Il est très ordinaire que les bords soient coupés à pic, et qu'ils aient beaucoup de stabilité: cela dépend de la nature des terres dont ils sont formés.

402. Les digues d'étang doivent empêcher les eaux de se filtrer à travers: cet effet doit être prévenu, puisqu'il affoiblit et détruit à la fin les digues. On y parvient en faisant des fondations solides si les digues sont en maçonnerie, ou en battant bien le terrain et faisant des corrois d'argille lorsque les digues sont en terre.

Quelquefois les digues sont destinées à un double usage; elles contiennent les eaux, et elles servent de chemin: on leur donne alors beaucoup plus d'épaisseur.

SECOND CAS.

403. Après avoir déterminé les dimensions des digues lorsqu'elles ne soutiennent que des eaux dormantes, il faut fixer celles qu'elles doivent avoir lorsqu'elles sont exposées à l'impétuosité des eaux courantes. Or les digues peuvent être exposées directement au courant, ou être situées obliquement; elles peuvent avoir leur parement vertical, ou offrir beaucoup de talut.

On sait, par la théorie ordinaire de la percussion des fluides, que l'impulsion qui en résulte perpendiculairement contre un plan est en raison composée du plan, du quarré de la vitesse du fluide, et du quarré du sinus de l'angle d'incidence du même fluide sur ce plan. On connoît aussi par la table suivante, qui est empruntée de M. Bouguer, l'effet des impulsions de l'eau.

Impulsions de l'eau sur une surface plane d'un pied quarré frappée perpendiculairement.

Vitesses en 1 seconde.	Impulsions.		Vitesses en 1 seconde.	Impulsions.	
1 pieds.	1 livres.	3 onces.	13 pieds.	203 livres.	0 onces.
2	4	13	14	235	0
3	10	12	15	270	0
4	19	3	16	300	0
5	30	0	17	334	0
6	43	0	18	389	0
7	59	0	19	434	0
8	75	0	20	480	0
9	97	0	21	529	0
10	120	0	22	580	0
11	145	0	23	635	0
12	172	0	24	688	0

Cela supposé, déterminons l'augmentation d'épaisseur qu'on doit donner à une digue exposée au choc de l'eau dans le cas le plus désavantageux, c'est-à-dire lorsque l'eau vient la frapper directement, et lorsque son parement est vertical.

Soit la vîtesse de l'eau de 8 pieds par seconde; le poids qui répond dans la table à l'impulsion relative à cette vîtesse est de 75 livres, et il excede seulement de 5 livres le poids d'un pied cube d'eau. Donc, dans le cas présent, quelle que soit la hauteur des eaux courantes, les digues auront une stabilité convenable, si on leur a donné une épaisseur suffisante pour résister à la poussée des eaux, dans la supposition que ces eaux auroient un pied d'élévation de plus que la hauteur de la digue. Or on a vu que l'épaisseur qu'on donne aux digues étoit ordinairement double de celle qui répondoit au cas d'équilibre. Donc ordinairement les digues construites pour résister à la poussée des eaux dormantes résisteront aussi complètement à l'action des eaux courantes, si leur vîtesse n'excede pas 8 pieds par seconde.

Dans les rivieres les plus rapides, la vîtesse de l'eau n'excede guere 11 pieds par seconde. Dans ce cas-là, en ayant égard à la force d'impulsion, il auroit fallu donner aux digues une épaisseur capable de résister à la poussée de l'eau, dans la supposition que la hauteur de l'eau eût été de 2 pieds plus grande que celle des digues. On voit encore, dans ce cas, qu'eu égard à l'épaisseur qu'on donne aux digues au-delà de celle qui seroit nécessaire pour le cas d'équilibre, les digues auroient toujours sur les rivieres les plus rapides une stabilité suffisante, quelle que fût l'impétuosité des eaux. D'ailleurs il est rare que les digues soient directement exposées au courant; et lorsqu'elles deviennent paralleles au cours de l'eau, elles supportent seulement la poussée de l'eau comme si elle étoit dormante. Enfin les digues ont toujours un talut, et ce talut contribue à diminuer l'effet de l'impulsion. Il est aisé de déterminer l'effet de l'impulsion de l'eau sur les digues qui ont des taluts, et on trouvera, par les principes ordinaires de la mécanique, que,

lorsque le talut est considérable, l'effet de l'impulsion qui contribue à assurer la stabilité de la digue peut devenir plus grand que celui qui tend à la renverser.

404. Si les digues étoient construites sur des rivieres sujettes à charier de gros blocs de glace, des poutres, etc. alors elles devroient avoir plus de solidité. Des solives pesant dix ou douze quintaux, qui choqueroient une digue avec une vîtesse de 8 ou 10 pieds par seconde, influeroient bien autrement sur la destruction de cette digue que si elle n'étoit exposée qu'à l'action ordinaire des eaux.

405. Ce n'est pas asssz, pour qu'une digue ait une stabilité suffisante, qu'elle puisse résister à la poussée et à l'impulsion de l'eau; il faut encore qu'elle ne puisse pas être attaquée par ses fondements. Nous avons montré comment les obstacles, en occasionnant l'élévation des eaux, donnoient lieu à des chûtes, et par conséquent à l'excavation du fond lorsqu'il étoit susceptible d'être corrodé. Ainsi on conçoit que les digues peuvent être affouillées sur toute leur longueur à proportion qu'elles se présentent davantage au fil du courant, que l'affluence des eaux est plus subite, et que leur chûte est plus considérable après leur choc.

Les parties les plus exposées à cet accident sont les extrémités de la digue, si elle est isolée, ou l'extrémité qui est la plus voisine du courant. Cet effet est d'autant plus sûr, que la digue a contribué à faire grossir davantage les eaux. Il existe à cette extrémité une chûte constante, et par conséquent une cause toujours subsistante de la destruction de la digue tant que la crue dure.

Toutes les fois que les eaux affluent lentement et viennent rencontrer les digues, elles ne sauroient corroder le fond à l'endroit où elles sont établies, si elles n'éprouvent point de chûte: mais cet effet ne peut guere manquer d'avoir lieu à leur extrémité. Il est fort ordinaire de voir des digues attaquées de cette maniere qui sont successivement entièrement détruites.

On fondera donc sur le ferme ou sur pilotis les digues en maçonnerie; et, pour les garantir encore davantage, on formera en avant

des crêches qui empêchent les eaux d'approcher trop de leurs fondements. Quant aux digues en terre, on plantera en avant, et très près, sur l'extrémité des taluts, deux rangs de pilots qu'on coeffera et liera convenablement : mais ce sera principalement aux extrémités de ces digues que tous les soins seront employés ; on assurera le fond avec des pilots, et on couvrira la tête de la digue ou en maçonnerie, ou en pierres de gros échantillon, ou en bois.

406. La Durance, ainsi que plusieurs des rivieres qui la grossissent, coule sur un lit quelquefois fort étendu et naturellement couvert de cailloux roulés. On trouve, sur la plupart des collines graveleuses qui sont à son voisinage, des bancs étendus de pierre coquilliere qu'on taille presque aussi facilement que le tuf, et dont on enleve des quartiers aussi grands qu'on le desire. La forme ordinaire de ces blocs est celle d'un parallélipipede de 4 à 5 pieds de longueur, et d'un pied $\frac{1}{2}$ ou de 2 pieds sur ses autres dimensions. Lorsqu'on veut construire des digues, on établit tout simplement un lit de ces blocs sur le gravier; on en met d'autres au-dessus, et on en fait un mur auquel on donne une élévation plus ou moins grande selon les circonstances. On ne se contente pas toujours d'employer un seul rang de ces blocs ; il y a des digues qui ont jusqu'à deux toises d'épaisseur à leur crête.

Lorsque quelqu'un des principaux courants de la riviere vient choquer ces masses, il ne les emporte pas, mais il les affouille. Vers la tête de la digue, l'affouillement étant plus profond, les pierres s'écroulent et sont tout-à-fait dispersées. Dans les autres parties, comme l'affouillement se fait par degrés et commence par la partie antérieure, les pierres ne conservent pas en s'abaissant la même situation relative; elles glissent, s'inclinent en avant, et finissent par être stratifiées sur un espace plus grand que celui auquel elles répondoient. Après qu'une digue a été ainsi détruite, on n'est pas assuré de la voir stable en la construisant une seconde fois; elle n'est bien solide que lorsque les débris des premieres digues ont été ensevelis aussi profondément qu'il est possible par les eaux, et

qu'ils peuvent servir de fondements aux digues nouvelles qu'on veut élever.

Si les digues s'abaissoient à la fois dans toute leur étendue de toute la quantité dont les eaux peuvent produire les affouillements, et si les pierres conservoient la même position relative, la construction de ces digues seroit beaucoup plus dispendieuse que si on commençoit par assurer leur stabilité en les fondant sur des pilotis. Quel ne doit pas être l'excès de dépense, si les débris de ces digues sont dispersés par les eaux, et ne peuvent servir à soutenir les nouvelles digues qu'on voudra élever à la place de celles qui auront été détruites!

On m'a dit que les cailloux qui couvrent le lit de la Durance ne permettoient pas d'enfoncer des pilotis; mais c'est une erreur. Le lit du Var présente la même abondance de cailloux que celui de la Durance. Lorsqu'on voulut construire un pont sur cette riviere pour le passage de nos troupes, fut-on embarrassé pour y planter des pilotis? On lit dans l'architecture hydraulique que ces pilotis furent même retirés lorsque l'existence du pont cessa de devenir nécessaire. D'ailleurs, en établissant les digues sur des fondements solides, on peut se dispenser de leur donner cette épaisseur énorme qu'elles ont quelquefois, et on épargne ainsi une quantité très considérable de matériaux.

407. Je ne puis m'empêcher de citer un exemple qui prouve à la fois l'inutilité de construire des digues trop épaisses et l'importance de les établir sur des fondements solides. On vouloit garantir un chemin établi sur les bords d'une riviere de cette province. On éleva d'abord sur la direction du lit un mur AB (*figure 62*) de 18 pouces d'épaisseur seulement, et qui portoit sur le roc. Ce mur étoit isolé, et devoit servir de mur de quai et soutenir les terres; il étoit bâti en cailloux roulés, parceque ces matériaux étoient les seuls qui fussent à portée. A l'extrémité de ce mur on construisit une digue en maçonnerie, fort épaisse; elle avoit la forme d'une pyramide quadrangulaire tronquée, et elle étoit exposée assez

directement au cours des eaux. On l'établit sur le gravier; et, pour prévenir les affouillements, on se contenta de placer vers la face exposée à l'action des eaux de gros blocs de pierre contigus. Une crue considérable survint; le mur AB fut surmonté et attaqué des deux côtés; il résista, malgré son peu d'épaisseur, à l'action des eaux: mais les grosses pierres qui couvroient la face de la digue exposée aux eaux disparurent; elles furent ou entraînées ou enfouies: le gravier sur lequel la digue portoit fut enlevé sur une étendue de plusieurs toises, et la digue fut dégradée sur tout cet espace.

J'ai vu, sur quelques parties des bords de la Durance, des digues en terre revêtues de pierres d'assez petit échantillon du côté exposé aux eaux. Il est certain que, si un courant un peu considérable avoit été dirigé sur ces digues, elles auroient été emportées, parceque leur revêtement n'étoit appuyé que sur le gravier ordinaire, et non sur des pilotis.

408. Je n'entre pas dans les détails des différentes manieres de construire les digues; il y a plusieurs ouvrages excellents qu'on peut consulter sur cet objet (1): je me borne à indiquer les principes d'après lesquels on doit se conduire; il ne faut rien de plus à des personnes intelligentes.

Si les rivieres étoient dirigées en ligne droite, des attentions médiocres suffiroient pour leur assurer une grande stabilité. Les arbres ou arbustes qu'on pourroit multiplier sur leurs rives seroient souvent alors des obstacles insurmontables pour les eaux: mais, selon que les bords sont plus ou moins exposés à l'action des courants, ils sont plus ou moins corrodés; la largeur du lit cesse d'être uniforme, et on observe des affouillements aux endroits qui sont plus exposés aux chocs des eaux. C'est pour combler des affouillements ou pour emporter des atterrissements qu'on emploie les digues. Les circonstances déterminent la disposition qu'on doit

(1) De la construction des digues par MM. Bossut et Vialet.

leur donner. La bonté des effets qu'elles peuvent produire dépend essentiellement de l'intelligence de ceux qui les construisent.

En général, lorsqu'on aura un affouillement à combler, ce ne sera pas à cet affouillement même ni au-dessous qu'on opposera des barrieres aux eaux; on s'attachera à les domter par-dessus et à les détourner. On ne négligera pas de détruire sur la rive opposée tous les obstacles qui pourroient empêcher l'effet des ouvrages qu'on élevera sur l'autre.

409. La hauteur qu'on doit donner aux digues n'est pas une chose indifférente; plus elles sont élevées, plus l'obstacle qu'elles opposent est grand, et mieux elles déterminent le cours des eaux à leur voisinage. Il est très ordinaire qu'elles produisent des effets opposés à ceux qu'on avoit en vue, et qu'on en attendoit en les construisant, lorsqu'elles ne sont pas élevées par des personnes qui ne connoissent pas bien l'action des eaux courantes. Qu'on ait, par exemple, une étendue considérable de terrain graveleux où les eaux d'une riviere peuvent se répandre lors d'une crue; si on veut mettre en valeur ce terrain et le garantir des inondations en y construisant d'intervalle en intervalle des digues élevées, il arrivera que les eaux qui couloient précédemment avec liberté sur ce terrain y produiront des affouillements et des sinuosités près des obstacles qu'elles rencontreront, et elles acheveront souvent par s'y établir. Cet effet sera presque inévitable sur les grandes rivieres. Dans ces circonstances, les digues doivent être très peu élevées, être disposées de maniere qu'elles puissent faciliter seulement les atterrissements et n'être augmentées que progressivement. J'ai vu, sur les bords de la Durance, de petites levées qui avoient résisté long-temps à l'action des eaux, et avoient produit des atterrissements, tandis que, dans les mêmes circonstances, des digues plus élevées, plus solidement construites, avoient été emportées, et avoient déterminé le cours des eaux là où elles avoient été établies.

SECTION

SECTION XXIV.

Des machines hydrauliques.

410. Les machines peuvent être mues par le choc de l'eau, par son choc et par son poids, enfin par sa réaction.

PREMIER CAS.

Selon la théorie qu'on trouve dans tous les livres d'hydraulique, deux plans qui sont choqués par deux courants éprouvent des efforts qui sont entre eux en raison composée de l'étendue des plans, des quarrés des vîtesses du fluide, et des quarrés des sinus d'incidence du fluide sur ces plans. L'expérience est à peu près d'accord avec la théorie lorsque les chocs se font perpendiculairement; mais on cesse d'avoir des résultats exacts dans les mouvements obliques, parceque la force du choc ne diminue pas à beaucoup près, toutes choses d'ailleurs égales, dans la raison des quarrés des sinus. Cependant, pour les cas où les angles d'incidence seroient grands, comme dans l'intervalle de 50 à 90 degrés, on peut, en attendant mieux, se servir de la théorie ordinaire pour déterminer les efforts, en observant néanmoins qu'elle donnera pour ces efforts des quantités un peu moindres qu'on ne les trouveroit par l'expérience, et d'autant moindres, que les angles d'incidence s'éloigneront davantage de 90 degrés. *M. l'abbé Bossut, Résistance des Fluides, page* 176.

411. La théorie du mouvement des roues par le choc de l'eau est sujette à de grandes difficultés. On sait pourtant que ces machines reçoivent une partie d'autant plus grande de la vîtesse du courant, que le nombre des ailes est plus considérable; bien entendu qu'on ne les multipliera pas au point de rendre les roues trop lourdes. On sait aussi que ces machines produisent leur plus grand effet lorsque leur circonférence prend un peu plus du tiers de la vîtesse du courant.

Pour calculer l'effet de ces machines, il faut connoître l'expres-

sion du choc que l'eau peut exercer. Or, lorsque le fluide est indéfini, c'est-à-dire lorsqu'il peut s'échapper librement sur les côtés du corps qu'il choque, *si la surface est choquée directement, la force du choc est égale au poids d'une colonne de ce fluide qui auroit pour base la surface choquée et pour hauteur la hauteur due à la vîtesse du courant* (1). Cette regle peut être adoptée (2) pour les roues qui sont mises en mouvement dans les rivieres; mais elle ne sauroit convenir à celles de ces machines qui sont contenues dans des coursiers. L'action de l'eau est alors plus considérable, et elle peut devenir double de ce qu'elle est dans le premier cas. Ce n'est pas que, toutes choses égales, la force de l'eau ne soit toujours la même; mais, les ailes empêchant l'eau de s'échapper, ce fluide s'éleve vis-à-vis, et agit sur elles à la fois par sa vîtesse et par sa pression.

Comme on donne aux coursiers beaucoup plus de largeur immédiatement au-dessous de l'endroit où l'extrémité des ailes devient plus voisine du fond, on voit qu'il y a une fort grande différence entre les roues mues dans les rivieres et celles qui tournent dans des coursiers. Dans les premieres, le niveau de l'eau étant sensiblement le même sur l'espace où la machine est établie, la pression de ce fluide est nécessairement la même sur chaque face des ailes, au lieu qu'elle est considérablement plus grande sur la face antérieure lorsque la roue tourne dans un coursier.

412. Dans la pratique, pour déterminer l'effet des roues à ailes, il est essentiel de connoître la vîtesse moyenne d'après laquelle on doit faire le calcul de l'impulsion. Les plus grands effets des courants sont en raison composée de leur dépense et de leur chûte: il faut donc fixer avec exactitude la dépense du courant qu'on emploie. Tous les auteurs ont suivi et indiqué dans ce cas la théorie de Guglielmini; mais la dépense à l'extrémité des canaux, déterminée

(1) M. Bossut, Résistance des Fluides, chap. V, pag. 173.

(2) La table des impulsions de l'eau (§ 403) est relative à cette regle.

par cette théorie, est double, ainsi que je l'ai démontré, de celle qui a lieu réellement. Qu'on juge par-là des erreurs auxquelles on est conduit en se dirigeant d'après les meilleurs ouvrages qui ont été publiés sur cette matiere.

SECOND CAS.

413. On trouve aussi dans les livres d'hydraulique la théorie des roues à pots; mais elle est assez hypothétique. On sait pourtant que ces machines produisent des effets d'autant plus grands, qu'elles coulent avec plus de lenteur. On les emploie de préférence aux roues à ailes lorsqu'on ne peut pas disposer de volumes d'eau considérables, et qu'on a cependant des effets assez grands à produire. Selon M. Bossut, partie II, page 392, le plus grand effet de la roue à pots est au plus grand effet de la roue à ailes :: 9 : 6,928; à quoi il faut ajouter que la premiere dépense moins que la seconde dans la raison de 1 à $\sqrt{3}$.

Ce célebre académicien a conclu, d'un petit nombre d'expériences qu'il a faites avec des roues à pots, que la vîtesse requise pour le plus grand effet est à la vîtesse que la roue prendroit naturellement si elle n'avoit aucun fardeau à élever, comme 1 est à 5 environ.

TROISIEME CAS.

414. On lit dans l'hydrodynamique de M. Bossut, partie II, page 343, l'article suivant:

« On a tenté dans ces derniers temps d'employer, pour mouvoir « des roues, la réaction de l'eau, d'après la remarque du célebre « M. Daniel Bernoulli, que *l'eau, au sortir d'un vase, repousse ce « vase avec une force dont il calcule l'effet précis.* M. Jean Albert « Euler, digne héritier du génie et du savoir de son illustre pere, « propose, dans une piece couronnée en 1754 par l'académie de « Gottingue, une machine mue par la réaction de l'eau, laquelle est « plus avantageuse, selon ses calculs, que si elle étoit mue par le

« choc ou par le poids de l'eau qu'elle dépense : mais cette machine « paroît devoir rencontrer beaucoup de difficultés dans la pratique, « et j'ignore si elle a été exécutée. »

415. Je n'ai point été satisfait des raisons sur lesquelles M. Daniel Bernoulli se fonde pour établir que l'eau, au sortir d'un vase, repousse ce vase avec une force déterminée. Je sais de quel poids est l'autorité de ce grand homme ; mais comme d'autres grands hommes se sont trompés sur quelques effets de la pression, et comme il a donné lui-même des idées peu exactes d'un effet de ce genre, j'ai cru qu'il n'étoit pas inutile d'examiner si l'eau, en sortant d'un vase, réagissoit contre lui.

La surface d'un volume d'eau contenu dans un vase qui se vuide par un orifice percé au fond, s'abaissant continuellement, on ne sauroit concevoir que le fluide qui sort puisse réagir contre le vase.

Si, après avoir rempli d'eau une bouteille, on la renverse de maniere qu'elle soit dans une position verticale avec son orifice en bas, on observera que cette bouteille éprouvera en se vuidant quelque ébranlement : mais cet effet est produit par l'air qui s'introduit dans la bouteille à mesure que l'eau en sort, et il ne peut être attribué à la réaction de ce dernier fluide.

416. Imaginons (*figure* 63) un vase de forme cubique rempli d'eau, et dont le fond soit dans une situation horizontale : il est évident que chacune des faces verticales éprouvera la même pression, et qu'elles tendront à s'écarter de la même maniere que si, le vase étant vuide, on les tiroit extérieurement avec des forces égales à celles que la pression peut exercer.

Mais l'état des choses changera si on fait une ouverture à une de ces faces. Celles qui n'ont pas été percées éprouveront une plus grande pression que celle qui l'aura été. Si l'orifice est pratiqué vers le milieu (1) de la face antérieure, et si la surface de cet orifice

---

(1) Si l'orifice étoit placé autrement, il seroit toujours aisé de déterminer, par les principes de la mécanique, la direction des forces opposées et inégales O et Q.

soutenoit le dixieme de la pression qu'éprouvoit la face entiere, la force O deviendra d'un dixieme plus foible que la force Q; celle-ci sera par conséquent plus puissante; enfin, si le vase étoit soutenu sur des roulettes de maniere qu'il pût obéir à la plus légere impulsion, en entretenant le vase toujours plein, il se mouvroit toujours dans la direction de la force Q.

417. Il reste à examiner s'il est possible qu'un volume d'eau puisse produire par sa pression plus d'effet que par son choc ou par son poids.

Il est évident qu'on ne peut faire usage de la pression de l'eau pour mouvoir les roues qu'autant qu'elles tournent horizontalement. La *figure* 64 représente le plan d'une de ces roues dont les ailes AB sont garnies à leur extrémité de caisses BC. La *figure* 65 représente l'élévation d'une de ces ailes et de la caisse qui est fixée à son extrémité.

On sait, par les principes d'hydrostatique, que les faces FEDC, GBIH, supporteront chacune une pression égale à celle d'un volume d'eau qui auroit pour base ces faces et la moitié de leur hauteur, quel que soit l'intervalle HC de ces faces: d'où on conclut qu'avec un fort petit volume d'eau on pourra produire des pressions fort considérables, en rendant les faces opposées bien grandes et leur distance fort petite.

418. Soit a la hauteur d'une de ces faces, b sa largeur, c leur intervalle; la pression exercée sur chacune d'elles sera exprimée par un volume d'eau $= \frac{a^2 b}{2}$; le volume d'eau contenu dans la caisse sera représenté par abc: la pression sur une des faces sera donc au poids de tout le volume d'eau $:: \frac{a^2 b}{2} : abc :: \frac{ab}{2} : bc :: a : 2c$. On voit ainsi que la pression exercée sur une face sera plus grande que le poids de tout le volume d'eau, tant que la hauteur de cette face sera plus grande que le double de la distance des faces opposées.

419. Mais une roue ne sauroit être mise en mouvement tant que

la pression seroit la même sur chacune des faces opposées, et cette pression ne peut devenir plus grande sur l'une des faces qu'autant qu'on pratiqueroit une ouverture sur l'autre.

420. Nous ne devons pas perdre de vue que l'effet de la pression sur une face verticale ne peut être plus grand que celui du poids de l'eau sur le fond que lorsque $a > 2c$ (§ 418) : mais cette condition réduit considérablement la grandeur de l'ouverture qu'on peut pratiquer sur la face antérieure. En effet, nous avons vu qu'en pratiquant sur cette face une ouverture qui supportât la même pression que le fond, l'eau s'échapperoit librement dans le vase, et par conséquent la face opposée à celle qu'on auroit percée n'éprouveroit alors aucune pression.

421. Ainsi, en comparant deux roues de mêmes dimensions, dont la vitesse devroit être la même, dont le mouvement seroit entretenu par un égal volume d'eau, en comparant, dis-je, deux roues dont l'une seroit mue par le poids de l'eau et l'autre par la pression, on voit que, lorsque le volume d'eau qui rempliroit une caisse feroit tourner la premiere roue avec tout son poids, l'action de la pression sur la seconde roue seroit nulle. Il est donc évident qu'il est plus avantageux d'employer le poids de l'eau que la pression de ce fluide pour faire mouvoir des roues. Cette vérité peut être rendue bien sensible d'une autre maniere. Considérons une caisse dont la face antérieure soit percée d'une ouverture quelconque : il est certain que, dans le cas où l'espace occupé par l'ouverture supporteroit une pression égale au poids de l'eau contenue dans la caisse, ce fluide s'échapperoit librement, et la pression seroit nulle sur la face opposée ; il est certain encore qu'en rendant l'ouverture plus petite, la pression augmentera sur la face opposée à celle où l'ouverture est pratiquée. Mais la vitesse de l'eau qui sort par l'ouverture augmente toujours à mesure que cette ouverture devient plus petite : ainsi l'effet de l'eau qui sortira à chaque instant par l'ouverture sera dans tous les cas plus grand que celui de la pression sur la face opposée. Donc la pression de l'eau ne peut pas être

employée avec autant d'avantage que le choc de ce fluide pour mouvoir des roues.

422. Je vais terminer mon ouvrage par quelques réflexions sur l'article suivant qu'on lit dans l'hydrodynamique de M. Bossut, tom. I, pag. 381.

« Il est dit, à la fin de l'article XIV, que la pression d'un fluide « en mouvement contre les parois du vase peut devenir négative. « Le calcul ne laisse là-dessus aucun doute : mais voici une expé« rience de M. Daniel Bernoulli qui montre la chose aux yeux. « ACFB (*figure* 66) est un cylindre dans le fond duquel est adapté « un tubre conique DGHE, garni lui-même d'un petit tube latéral l « qui reçoit l'une des extrémités du tube de verre recourbé lmn. « Les dimensions employées par M. Bernoulli sont telles, que CA « = 3 pouces 10 lignes; El = 4 lignes; lH = 2 pouces 9 $\frac{1}{2}$ lignes; « lmn = 5 pouces 6 lignes; la section du tube conique en l est à « l'aire de l'orifice GH comme 10 est à 16. L'orifice n du tube lmn « est plongé dans l'eau du vase M. En mettant le doigt à l'orifice « GH, remplissant le vase ACFB et l'entretenant toujours plein, « l'eau s'écoule par le tube de verre lmn dans le vase M; ensuite, « ôtant le doigt pour permettre à l'eau de s'écouler par GH, l'eau « monte du vase M par le tuyau nml, et vient s'écouler par l'orifice « GH : le vase M se vuide entièrement. Si l'on bouche une partie de « l'orifice GH, on pourra faire en sorte que l'eau dans le tube de « verre lnm monte ou descende à volonté. Il est aisé d'expliquer « cette expérience. Quand l'eau monte du vase M par le tuyau « nml, cela arrive, parceque la pression du fluide le long du tuyau « conique DGHE devient négative en l, et qu'en conséquence la « pression de l'atmosphere sur la surface du vase M oblige l'eau à « monter suivant nml. Cette même pression de l'atmosphere em« pêche alors les parties du fluide de se séparer. »

On conçoit aisément que l'eau, en sortant librement par un tuyau vertical et cylindrique, n'en pressera pas les parois : mais la pression sera toujours nulle, soit que l'eau suive les parois du

tuyau, soit que la veine fluide contractée en DE, s'accélérant ensuite, ne touche plus les parois au-dessous de DE. L'idée d'une pression négative annonce l'existence d'une force qui agiroit sur les tuyaux en sens contraire, c'est-à-dire qui presseroit la paroi intérieure du dehors au dedans. Or l'existence de cette force est imaginaire, et il n'est pas nécessaire d'y avoir recours pour expliquer l'expérience que je viens de rapporter.

On remarquera, 1°. dans l'expérience en question que l'aire de l'orifice en DE est moindre que celle de l'orifice en CB. 2°. On se rappellera que les tuyaux additionnels diminuent la contraction de la veine fluide qui s'échappe, mais ne la détruisent pas : or, si la contraction avoit lieu, comme l'eau s'accélere au-dessous de DE, elle ne sauroit toucher ensuite les parois du tuyau DG. 3°. Nous avons fait voir que la diminution de l'effet de la contraction, ou l'augmentation de la dépense, étoit produite par l'attraction qu'exerçoient les parois du tuyau sur les filets d'eau les plus voisins des bords de l'orifice DE : mais il est clair que si, dans ce cas, l'eau suit les parois du tuyau sur toute sa longueur, elle ne coule pas pour cela à plein tuyau en *l* et en GH ; car alors, en ne tenant pas compte de l'accélération qui ne peut cependant manquer d'avoir lieu depuis D jusqu'en G, la dépense en *l* et en GH seroit plus grande qu'en DE ; ce qui est absurde : donc l'eau ne sort pas à plein tuyau. Tout cela supposé, il est aisé d'expliquer l'expérience de M. Bernoulli.

L'eau, tombant librement, et suivant les parois du tuyau depuis E jusqu'en H, ne permet pas à l'air de produire aucune action en *l* ; d'une autre part, l'atmosphere, pressant l'eau en M, soutient facilement ce fluide dans le tuyau *lmn* : mais pour que l'eau passe du tuyau *lmn* dans le tuyau DH, en supposant la contraction nulle en DE, ainsi que l'accélération depuis E jusqu'en *l*, il faut que l'aire du tuyau DH en *l* soit plus grande qu'en DE, puisque là elle doit être formée du fluide qui s'échappe continuellement en DE et de celui qui monte par le tuyau *lmn*. On voit ainsi l'avantage de rendre

conique le tuyau DEGH. Mais l'eau du tuyau *lmn* n'entre pas dans le grand tuyau, parcequ'au point *l* la pression est négative; elle a au contraire à vaincre le courant qui suit les bords du tuyau, et elle ne produit son effet que parceque, dans cette section même, il y a vers le centre un vuide que l'eau qui descend du vase ABCF, est réduite à occuper.

Cependant le tuyau DEGH ne doit pas être trop évasé par le bas; car, outre que l'eau n'en suivroit pas aisément les parois, elle laisseroit dans l'intérieur un vuide que l'air rempliroit, et qui, agissant en *l*, ne permettroit pas à l'eau de se soutenir dans le tuyau *lmn*.

Il est clair que si, le tuyau DEGH étant cylindrique, l'eau tombe librement et à plein tuyau, le fluide contenu dans le tube *lmn* restera suspendu sans mouvement; enfin si le tuyau DEGH est conique avec le petit orifice en bas, l'eau dans le petit tuyau descendra dans le vase M.

FIN.

TABLE
DES MATIERES.

« et sur les plages de Pérols, de Maguelone, etc. assure que la mer « en rejette tous les jours mêlées avec « d'autres cailloux du Rhône, et « qu'elles sont portées dans ce fleuve « par la Durance au-dessous d'Avi- « gnon.

« On ne sauroit douter, dit-il, que « les dépôts caillouteux, très étendus « dans les dioceses de Nismes et de « Montpellier, ne soient un tribut de « la mer qui les a reçus du Rhône: « cette opération se répete tous les « jours sous nos yeux. »

Le Rhône est fort rapide; le Rhône a beaucoup de cailloux sur ses bords; donc le Rhône charie beaucoup de cailloux. Tel est le raisonnement de presque tous ceux qui vivent auprès de ce fleuve. Il est naturel sans doute de penser, lorsqu'on voit des cailloux amoncelés au voisinage d'une riviere, qu'ils ont été roulés par ses eaux. On doit cependant employer cette cause avec réserve, parcequ'il est bien prouvé que la mer a formé des plaines et des montagnes de galets dans des endroits où il n'y a à présent que de foibles ruisseaux.

Il est certain qu'il existe sans interruption des montagnes et des plaines de cailloux roulés depuis le Jura jusqu'à la Crau. La Saône coule depuis Châlons jusqu'à Lyon entre des collines qui ont une organisation semblable. Les racines des montagnes de Vienne sont formées de roches quartzeuses, et elles sont couronnées de dépôts de cailloux roulés qui ont ensuite une étendue immense. Combien de collines graveleuses le Forez et le Vivarais n'offrent-ils pas! J'ai parlé des amas de cailloux qui sont sur la rive gauche du Rhône dans le Dauphiné et dans le Comtat Venaissin; il s'en trouve aussi sur la rive droite à Saint-Gilles, à Nismes, à Maguelone, et vraisemblablement jusqu'aux Pyrénées. Mais quand il seroit certain que tous ces débris de montagnes ont la même origine, on ne pourroit jamais attribuer au Rhône la formation de cette chaîne immense de dépôts, puisque c'est, pour ainsi dire, seulement dans le lit de ce fleuve qu'elle est interrompue. En effet, le Rhône n'a plus de cailloux à une lieue au-dessus d'Arles. Les faits rapportés par M. Dorthès ne méritent par conséquent aucune confiance. Il y a des variolites dans la Crau d'Arles, dans la Crau d'Orange, dans les atterrissements du Languedoc, etc. mais ces pierres ne peuvent guere avoir toutes la même origine. Quel est le physicien qui, en ramassant un granit ou un quartz dans la Crau, oseroit décider que ces pierres viennent des Alpes plutôt que des Pyrénées?

Au reste, les mêmes personnes qui attribuent aux rivieres ces grands atterrissements tombent dans des contradictions manifestes. S'agit-il d'expliquer pourquoi le sol d'Arles, d'Aigues-mortes, est plus élevé que dans les siecles précédents, ils ont recours aux amas de sable apportés par le Rhône. Le fond de ce fleuve avoit donc alors moins de hauteur. L'accroissement de ses dépôts n'a pu être que progressif, et les derniers sont nécessairement les plus élevés: or ces

V

Fin de la table des matieres.

ERRATA.

Page	6, ligne	15, DE², *lisez* DF².
	6	17, DE², *lisez* DF².
	7	1, longueur, AQ $\frac{b}{7}$, *lisez* longueur AQ, $\frac{b}{y}$.
	7	16, $a = o$, *lisez* $x = o$.
	7	17, donc il, *lisez* mais il.
	7	27, $\frac{xy}{x-b}$; *lisez* $\frac{xy}{y-b}$.
	10	10, de ces extrêmes, *lisez* des cas extrêmes.
	13	9, GR, *lisez* BC.
	11	10, fluides, *lisez* fleuves.
	13	31, perd, *lisez* prend.
	52	18, renversée, *lisez* renfermée.
	74	24, BE ÷ VE, *lisez* BE — ÷ VE.
	82	6, puissent, *lisez* passent.
	86	13, d'une colonne, *lisez* d'un volume.
	86	14, le faire connoître, *lisez* le connoître.
	111	7, réservoir, *lisez* réversoir. La même faute est répétée aux pages 111, 112, 113, 114, 115.
	114	20, *effacez ces mots*, dans la troisieme expérience, l'excès n'est plus que d'un quart.
	175	21, pentes, *lisez* parties.
	189	30, important, *lisez* imposant.
	211	1, d'émail, *lisez* d'émeril.
	226	31, soient rapides, *lisez* soient plus rapides.

Page 234, ligne 29, écoulement, *lisez* écroulement.
276 31, à l'instant, *lisez* à l'endroit.
320 9, CB, *lisez* GH.

EXTRAIT des registres de l'Académie des Belles-Lettres, Sciences et Arts de Marseille.

MESSIEURS de Robineau et Thulis, commissaires, ayant rendu compte d'un ouvrage de M. Bernard, intitulé *Nouveaux Principes d'Hydraulique, appliqués à tous les objets d'utilité, et particulièrement aux fleuves*, l'Académie a jugé cet ouvrage digne de l'impression; en foi de quoi j'ai signé le présent certificat. A Marseille, à l'Observatoire royal de la marine, le 11 Avril 1786.

BERTRAND, secrétaire de l'Académie.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 15

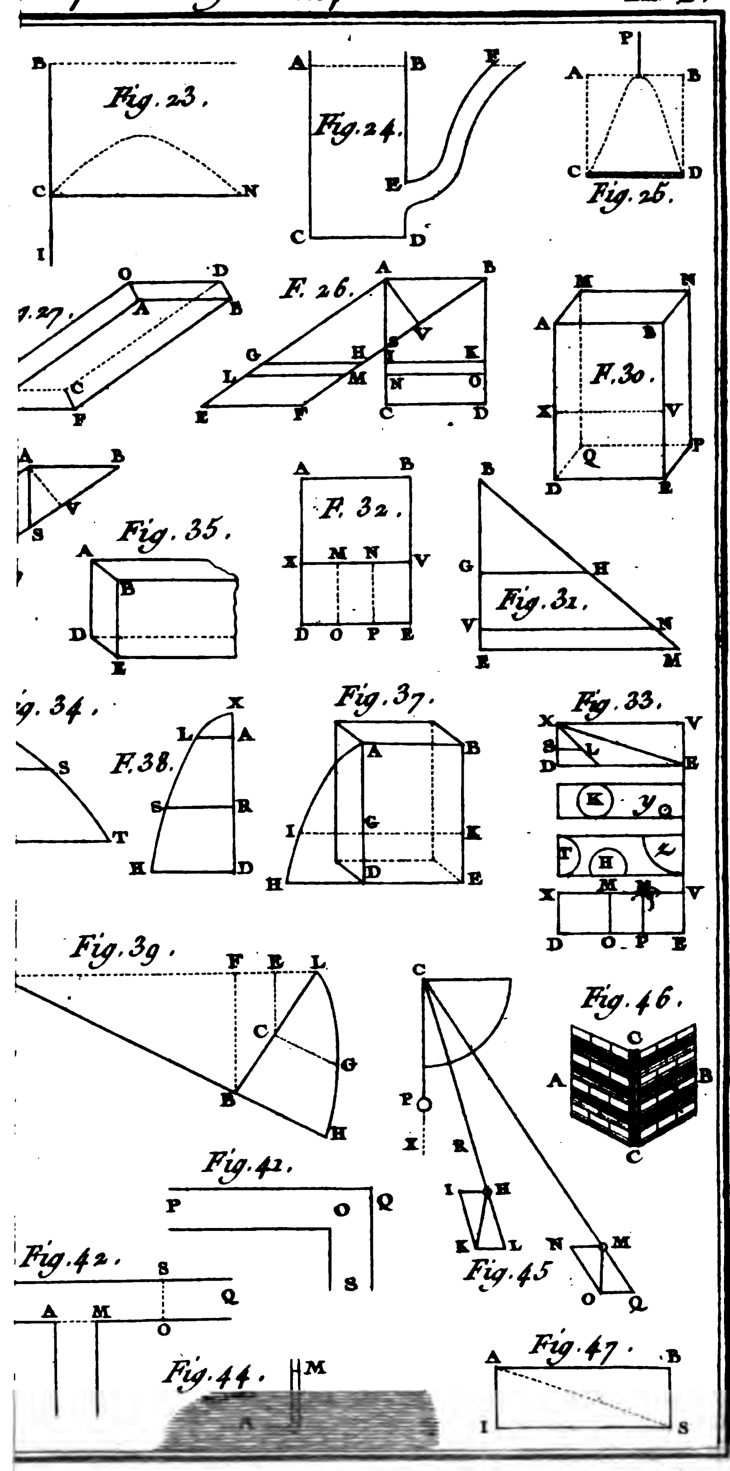
Fig. 16.

Fig. 12.

Fig. 19.

Fig. 20.

Fig. 21.


Fig. 23.
Fig. 24.
Fig. 25.
F. 26.
F. 30.
Fig. 35.
F. 32.
Fig. 31.
F. 38.
Fig. 37.
Fig. 33.
Fig. 39.
Fig. 46.
Fig. 41.
Fig. 42.
Fig. 45
Fig. 44.
Fig. 47.

C I D

Fig. 50.

B S

Fig. 51.

M D S

Fig. 52.

P

Fig. 53.

R

Fig. 54.

A B C S

Fig. 62.

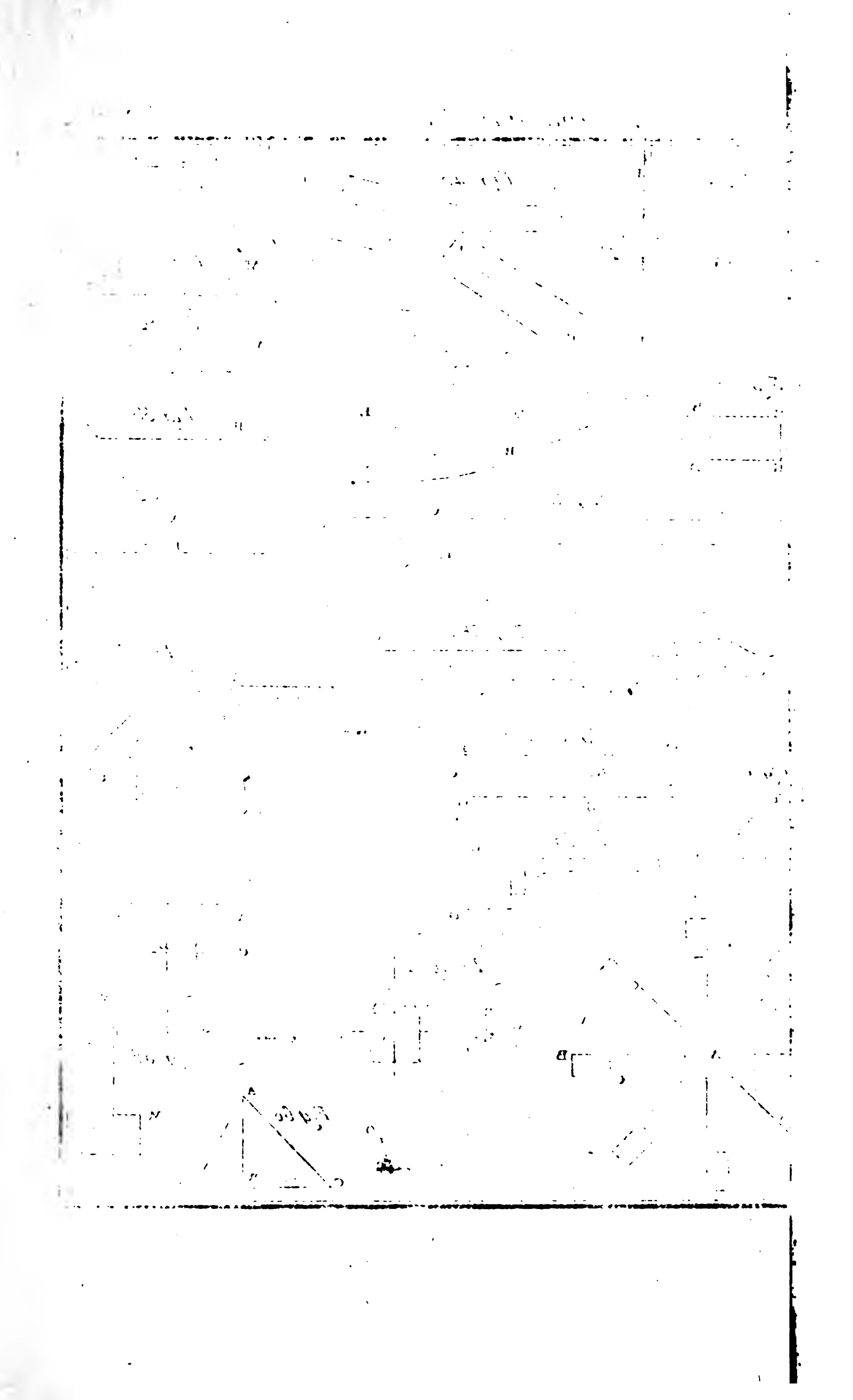
B C

A B C D E F

l m G H

Fig. 66.

A M n B O



Index to Rivers.

Page